

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**  
**Ecole National Supérieur des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral**



**MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME**  
**D'INGÉNIEUR EN SCIENCES DE LA MER**  
**Spécialité : AMÉNAGEMENT DU LITTORAL**

**Sujet :**

**Modélisation de la dynamique et la cinématique à multi**  
**échelles du trait de côte et évaluation des zones à**  
**risques du littoral centre Algérien**

**Baie de Zemmouri**

**Présenté par :**

- ❖ AOUABDIANarimene
- ❖ DAHLAB Nadjet

Soutenu le 06/ 11 /2018 devant le jury suivant :

FERNANE. L	MAB	ENSSMAL	Président
MEZOUAR. K	MCA	ENSSMAL	Promoteur
KETFI. B	Ingénieur	LAKA ES	Co-promoteur
OTMANI. H	MAA	ENSSMAL	Examineur
DAHMANI. A	Doctorant	ENSSMAL	Examineur

**Promotion : 2018**

*« La mer est un espace de rigueur et de liberté... »*

**VICTORE HUGO**

*Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce modeste travail.*

*En second lieu, nous tenons à remercier notre encadreur Mr MEZOUAR K. ses précieux conseils et son aide durant toute la période du travail.*

*Nos vifs remerciements vont également à notre Co-encadreur Mr KETFI B. pour l'aide précieux qu'il nous a apporté, ainsi qu'aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail en acceptant de l'examiner et de l'enrichir par leurs propositions.*

*Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de loin ou de près à la réalisation de ce travail.*

**AOUABDIA N.**

**DAHLAB N.**

*Dédicace*

*Aux deux personnes que j'ai tant aimé qu'elles assistent à ma soutenance : les regrettés*  
**Mr MEDOUKALI T. & Mr AOUABDIA Med K.**

*A mes très chers parents qui ont été là pour moi, et qui m'ont donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance. J'espère qu'ils trouveront dans ce travail toute ma reconnaissance et tout mon amour.*

*A mes chers grandes mères Mme **ABBAS FZ.** Et Mme **DEHIMI H.***

*A ma très cher petite princesse **AOUABDIA DALIA.***

*A tous mes oncles et tantes, cousins et cousines.*

*A toutes personne qui été là pour moi....*

*Je dédie ce mémoire.*

**AOUABDIA NARIMENE**

*A la mémoire de mes grands-parents.*

*A ma grande mère : **BERRI**Jamaa.*

*A mes chers parents,*

*Qui n'ont jamais cessé, de formuler des prières a mon égard, de me soutenir et de m'épauler pour que je puisse atteindre mes objectifs.*

*A mes chers frères : **ABD EL MOHAIMEN & CHARAF ELDINE,***

*A ma chère sœur : **KAMILIA,***

*Pour leurs soutiens moraux et leurs conseils tout au long de mon parcours d'étudiante.*

*A mes chers petits : **AMINE & AMIR.***

*A toute ma famille,*

*A tous mes amis, pour leurs aides dans les moments difficiles.*

*A tous ceux que j'aime et ceux qui m'aiment...*

*Je dédie ce mémoire.*

**DAHLAB NADJET**

## **Table des matières :**

<b>Citation</b> .....	
<b>Remerciements</b> .....	
<b>Dédicaces</b> .....	
<b>Introduction</b> .....	2
<b>Chapitre I : Généralités</b>	
I.1 Système littoral .....	4
1.1 Morpho-dynamique côtière .....	4
1.2 Morphologie des plages .....	5
1.3 Hydrodynamique littorale .....	6
I.2 Changement climatique .....	7
2.1 Les variations du niveau de la mer .....	7
I.3 Submersion marine .....	8
<b>Chapitre II : Généralités sur la zone d'études</b>	
II.1 Situation géographique .....	10
II.2 Cadre géomorphologique .....	11
II.3 Cadre géologique .....	13
II.4 Cadre météo-marin .....	16
II.5 Condition météo-océanique .....	18
5.1 Les vents .....	18
5.2 Les houles .....	20
<b>Chapitre III : Modélisation de l'hydrodynamique sédimentaire du littoral de la baie de Zemmouri</b>	
III.1 Introduction .....	23
III.2 Présentation de la modélisation .....	23
2.1 Principe de la modélisation .....	23
2.2 Présentation du modèle .....	23
2.3 Construction du modèle .....	25
2.3.1 Emprise et bathymétrie .....	25
2.3.2 Création 2D Bathymétries sous le maillage .....	26

2.3.3	Interprétation des résultats bathymétriques .....	26
2.4	Caractéristique du modèle .....	31
2.4.1	Résultats des modèles des vagues .....	32
2.4.2	Résultats simulation hydro-sédimentaire .....	33
2.4.3	Modélisation des champs de courants générés par la houle .....	38
2.4.3.1	Résultats des simulations HD et interprétations .....	39
2.4.4	Modélisation du transport sédimentaire sous l'effet de houle et de courant ...	43
2.4.4.1	Description et configuration du modèle Mike 21 ST .....	44
2.4.4.2	Résultats du modèle Mike 21 ST .....	45

#### **Chapitre IV : Evolution spatio-temporelle du trait de côte**

Introduction .....	54
IV.1 Méthodologie .....	54
IV.2 Calcul des taux d'érosion / accrétion .....	55
IV.3 Résultats et interprétations .....	56

#### **Chapitre V : L'aléa de la submersion marine dans la grande baie de Zemmouri**

Introduction .....	71
V.1 La submersion marine .....	71
V.2 Principe de la cartographie des zones d'aléa submersion marine .....	72
V.3 Le phénomène responsable de ces submersions d'origine météorologique .....	73
3.1 Le surcote .....	73
3.2 Le Wave Setup .....	75
3.3 Le Runup .....	75
3.4 Niveau marin maximal statique et instantané .....	76
3.5 Evaluation des différents niveaux d'inondation .....	76
V.4 Topographie et utilisation des sols .....	77
V.5 Méthodologie .....	78
V.6 Résultats .....	79
<b>Conclusion</b> .....	86
<b>Bibliographie</b> .....	

## Liste des figures :

Fig N°I-1 Zonation Du Domaine Côtier (Short (1999) Et Wright Et Al (1982)).....	5
Fig N° I-2 : Différents Modes De Submersion Marine Provoquée Par Des Tempêtes Avec surcotes Associées (CARIOLET, 2011 In BREILH, 2015).....	8
Fig N° II-1 Situation Géographique De La Baie De Zemmouri.....	10
Fig N° II-2 Grands Ensembles Morphologiques De La Baie De Zemmouri .....	12
Fig N° II-3 Unités Géologiques Constituants La Baie De Zemmouri (Domzig Et Al,2006).....	13
Fig N° II-4 Coupe Géologique Montrant Les Relations Entre Les Différentes Unités Des Maghrébides(Bracène, 2001).....	13
Fig N° II-5 Diagramme Des Températures De La Wilaya De Boumerdes.....	16
Fig N° II-6 Diagramme De Pluviométrie De La Wilaya De Boumerdes.....	17
Fig N° II-7 Diagramme Ombrothermique De La Wilaya De Boumerdes.....	17
Fig N° II-8 Roses Annuelle Et Saisonniers Des Vents Au Large De La Grande Baie De Zemmouri(Source MEDATLAS 1999-2004).....	19
Fig N° II-9 Rose Annuelle Des Houles (MEDATLAS, 1994-2004).....	21
Fig N° II-10 :Roses saisonnières des houles au large de Cap Djinet.....	22
Fig N°III-1 : Approche Méthodologique Adoptée Pour La Modélisation Intégrée De L'hydrodynamique.....	25
Fig N°III-2 : Emprise Et Maillage Du Modèle Côtier De La Baie De Zemmouri.2017.....	28
Fig N° III-3 : Carte Bathymétrique De La Baie De Zemmouri.2017.....	29
Fig N° III-4: Carte Bathymétrique De Ain Taya.....	31
Fig N° III-5 : Carte Bathymétrique De Boumerdes.....	31
Fig N° III-6: Champs De Houles Pour Différentes Périodes Du Mois De Juin Pour Toute La Côte Algérienne.....	33
Fig N° III-7: Champs De Houles (MWD=45°) Sur La Baie De Zemmouri.....	36
Fig N° III-8: Champs De Houles (MWD=45°) Sur La Partie Centrale (Plage De Boumerdes).....	36
Fig N° III-9: Champs De Houles (MWD=360°) Sur La Baie De Zemmouri.....	38
Fig N° III-10: Champs De Houles (MWD=360°) Sur La Partie Centrale (Plage De Boumerdes).....	38
Fig N° III-11: Champs De Houles (MWD=315°) Sur La Baie De Zemmouri.....	39
Fig N° III-12: Champs De Houles (MWD=315°) Sur La Partie Centrale (Plage De Boumerdes).....	40
Fig N° III-13: Champs Des Courants Sur La Baie De Zemmouri Pour : MWD= 45°.....	42
Fig N° III-14: Champs Des Courants Sur La Baie De Zemmouri Pour : MWD= 45°. (Boumerdes).....	43
Fig N° III-15: Champs Des Courants Sur La Baie De Zemmouri Pour : MWD= 360°. (Boumerdes).....	43
Fig N° III-16: Champs Des Courants Sur La Baie De Zemmouri Pour : MWD= 315.....	44
Fig N° III-17: Champs Des Courants Sur La Baie De Zemmouri Pour : MWD= 360°. (Boumerdes).....	44
Fig N° III-18: Dynamique Sédimentaire Sur La Baie De Zemmouri Pour : MWD= 45°.....	49
Fig N° III-19: Dynamique Sédimentaire Sur La Partie Est De La Baie De Zemmouri: MWD= 45°.....	49
Fig N° III-20: Dynamique Sédimentaire Sur La Partie Ouest De La Baie De Zemmouri : MWD= 45°.....	50
Fig N° III-21: Dynamique Sédimentaire Sur La Baie De Zemmouri Pour : MWD= 360°.....	50
Fig N° III-22: Dynamique Sédimentaire Sur La Partie Est De La Baie De Zemmouri: MWD= 360°.....	51
Fig N° III-23: Dynamique Sédimentaire Sur La Partie Ouest De La Baie De Zemmouri: MWD= 360°.....	51
Fig N° III-24: Dynamique Sédimentaire Sur La Partie Est De La Baie De Zemmouri: MWD= 315°.....	52
Fig N° III-25: Dynamique Sédimentaire Sur La Partie Est De La Baie De Zemmouri:	

MWD= 315° .....	52
Fig N° III-26: Dynamique Sédimentaire Sur La Partie Ouest De La Baie De Zemmouri: MWD= 315° .....	52
Fig N° IV-02 : Découpage de la baie de Zemmouri.....	57
Fig N° IV-03 : Zone 1 : Cap Djinet – Oued Isser.....	58
Fig N°IV-04 : Diagramme EPR/Transect Zone 1.....	59
Fig N°IV-05 : Diagramme LRR/EPR Courbe De Régression Zone 1.....	59
Fig N°IV-06 : Zone 2 : Oued Isser – Port De Zemmouri.....	60
Fig N°IV-06 : Diagramme EPR/Transect Zone 1.....	60
Fig N°IV-07 : Diagramme LRR/EPR Courbe De Régression Zone 2.....	61
Fig N°IV-08 :Zone 3 : Port De Zemmouri – Cap Blanc.....	61
Fig N°IV-09 : Diagramme EPR/Transect Zone 3.....	62
Fig N°IV-10 : Diagramme LRR/EPR Et Courbe De Régression Zone 3.....	62
Fig N°IV-11 : Zone 4 : Cap Blanc – Rocher Noir.....	63
Fig N°IV-11 : Diagramme EPR/Transect Zone 4.....	63
Fig N°IV-12 : Diagramme LRR/EPR Et Courbe De Régression Zone 4.....	64
Fig N°IV-13 : Zone 5 : Rocher Noir – Oued Corso.....	64
Fig N°IV-14 : Diagramme EPR/Transect Zone 5.....	65
Fig N°IV-15 : Diagramme LRR/EPR Et Courbe De Régression Zone 5.....	65
Fig N°IV-16: Zone 6: Oued Corso – Oued Reghaia.....	66
Fig N°IV-17 : Diagramme EPR/ Transect Zone 6.....	66
Fig N°IV-18 :Diagramme LRR/EPR Et Courbe De Régression Zone 6.....	67
Fig N°V-1 :Typologie Des Submersions Marines (Franchissement, Débordement, Rupture D’ouvrage) (BRGM).....	72
Fig N°V-2:Principe De La Cartographie Des Zones D’aléa Submersion Marine.....	73
Fig N°V-3 : Principe De Formation Du Waveset-Up.....	74
Fig N°V-4 : Carte De La Délimitation Et Potentialité Du Domaine Littoral De La Wilaya De Boumerdès (PATW, 2016).....	78
Fig N°V-5 : Modèle Numérique Du Terrain De La Baie De Zemmouri Extraite Site De L’USGS.....	79
Fig N°V-6 : Carte De L’aléa Submersion Sur La Baie De Zemmouri En Cas D’élévation De 1m De Niveau De La Mer.....	80
Fig N°V-7 : Carte De L’aléa Submersion Sur La Baie De Zemmouri En Cas D’élévation De 2m De Niveau De La Mer.....	81
Fig N°V-8 : Carte De L’aléa Submersion Sur La Baie De Zemmouri En Cas D’élévation De 3m De Niveau De La Mer.....	82
Fig N°V-9 : Carte De L’aléa Submersion Sur La Baie De Zemmouri En Cas D’élévation De 5m De Niveau De La Mer.....	83
Fig N °V-10 : Carte De L’aléa Submersion Sur La Baie De Zemmouri En Cas D’élévation De 7m De Niveau De La Mer.....	84
Fig N°V-11 : Carte Des Zones De Risque Sur La Baie De Zemmouri.....	85

### Liste des tableaux :

Tab N°II-1 : Fréquences annuelle et saisonnières des houles au large par direction entre 1999 et 2004 .....	20
Tab N° III.1 : Sortants du modèle SW.....	34
Tab N°IV-01 : Synthèse De La Dynamique Côtière De La Baie De Zemmouri.....	68

**Listes des acronymes :**

**A.N.R.H :** Agence Nationale des **R**essources **H**ydriques

**CRAAG :** Centre de **R**echerche en **A**stronomie et **G**éophysique

**D.S.A.S:** Digital Shoreline Analysis System

**ENSSMAL :** Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral

**E.P.R:** End Point Rate

**I.N.C.T:** Institut National de **C**artographie et de **T**élé-détection

**IPCC:** Intergovernmental Panel on Climate Change

**N.S.M:** Net Shoreline Movement

**O.N.M :** Office National de **M**étéorologie

**P.A.C:** Plan d'Aménagement **C**ôtier

**S.I.G :** Système d'Information **G**éographique

**US.GS:** United State **G**eological **S**urvey

# **Introduction**

## **Problématique :**

Le littoral est un espace qui revêt des caractéristiques physiques, environnementales, socio-économiques, géostratégiques et patrimoniales très variées. Cet écosystème riche est aujourd'hui de plus en plus désiré, voire convoité et partagé. Sa richesse a engendré des activités multiples et a suscité des intérêts souvent contradictoires, et génère des conflits d'usage et des dysfonctionnements.

Un système côtier comprend une série de sous-systèmes interdépendants caractérisés par des paramètres et des processus variés à l'interface entre une unité morphologique et un agent dynamique. L'état particulier d'un système peut être défini par des paramètres clefs et la morphologie en est un des plus remarquables. Un des exemples les plus clairs d'une telle approche morpho dynamique appliquée aux études littorales a été la reconnaissance d'états de plage distincts qui peuvent être définis en fonction de la forme des barres littorales, de la pente de plage ou d'autres paramètres (**Wright et Short, 1984**).

L'attractivité des littoraux est à l'origine d'une densification croissante des aménagements et notamment de l'urbanisation le long du littoral. En Algérie, les communes adossées au trait de côte réparties sur 14 wilayas regroupaient environ 40 % de la population et, la densité de constructions sur le littoral étant quatre fois supérieure à la moyenne nationale. Les conséquences de cette pression sociétale sont, d'une part la perturbation des dynamiques et des équilibres naturels (dégradation des habitats, accentuation de l'érosion côtière), et, d'autre part une contribution dans le processus de création du risque dès lors que des infrastructures sont implantées dans des secteurs sensibles aux aléas météo-marins. L'anthropisation est ici perçue autant comme un agent de forçage qu'un facteur du risque.

La problématique de l'érosion côtière occupe une place de plus en plus importante dans la gestion des territoires côtiers à l'échelle de la planète. La compilation de résultats sur l'évolution côtière à l'échelle nationale, continentale et même mondiale démontre un constat similaire : les changements climatiques ont un impact direct sur les milieux côtiers (**Mezouar, 2014**).

Au niveau du littoral centre de l'Algérie, en plus d'une augmentation mesurée de l'intensité de l'érosion côtière dans plusieurs secteurs ; le cadre bâti s'est rapidement étendu sans égard à la sensibilité du littoral. Le littoral s'est ainsi fortement artificialisé au rythme de la mise en place de structures de protection pour lutter contre l'érosion.

Une association entre la forme (ex. plage sableuse, falaise...) et les processus (ex. Houles, courants, variation du niveau marin) est visible sur des surfaces aussi vastes que notre zone d'étude qui s'étend de Cap Matifou à Cap Djinet sur plus de 56 km.

Pour examiner la signification de ces changements géomorphologiques, il est utile de reconnaître une hiérarchie des échelles temporelles et spatiales (**Cowell et Thom, 1994**).

L'échelle temporelle la plus courte est celle dans laquelle se déroule le déferlement d'une vague et la réponse instantanée des sédiments sous l'action de celle-ci. Une échelle plus importante, celle de « l'événement » peut être celle dans laquelle une tempête se produit et où une plage réagit et revient, éventuellement, vers son état initial. Le niveau suivant d'étude peut concerner les échelles régionales et sur des décennies avec les variations d'érosion ou d'accrétion le long de la Baie.

Le travail présenté dans ce mémoire porte sur le comportement du littoral de Zemmouri et le recueil d'informations sur les interactions morpho dynamiques dans ce type de milieu. La connaissance du fonctionnement naturel de cet environnement ainsi que la surveillance de

la dynamique côtière sont, par conséquent, des conditions pré requises pour optimiser la gestion intégrée de ces espaces en fort développement démographique et économique.

La démarche adoptée dans ce travail se base sur une approche modélisatrice calquée sur des mesures afin d'obtenir des données sur les processus en action. Le mémoire est articulé autour de V chapitres.

Le premier chapitre est consacré à une présentation générale des caractéristiques des milieux littoraux et aux processus dynamiques liés à leurs évolutions et la relation spatio-temporelle en morpho-dynamique côtière. Le deuxième chapitre est consacré à la description de la zone d'étude.

Les trois derniers chapitres regroupent l'approche modélisatrice. Le chapitre 3 présente Une étude modélisée des phénomènes hydrodynamiques à l'aide d'un logiciel industriel MIKE 21 qui permettra une meilleure appréciation de la dynamique littorale et du transport sédimentaire au niveau de la Baie. Le chapitre 4 se consacre à une étude modélisée de l'évolution diachronique du trait de côte sous ArcGIS 10.2 à l'aide de l'extension DSAS 3.4 pour une période de 45 ans (de 1972 jusqu'à 2017). Le chapitre 5 se focalise sur une étude de phénomène de la submersion marine en utilisant le logiciel ArcGIS 10.2 qui permettra de créer des cartes d'aléa pour des élévations de niveau marin différentes.

Enfin, on va clôturer notre travail par une conclusion qui résume les différents chapitres

# CHAPITRE I

## GENERALITES

## 1. Système littoral :

La côte est le lieu de rencontre entre le continent, l'océan et l'atmosphère. Ces trois environnements, contrôlés par de multiples processus physiques, interagissent au niveau du littoral (**Carter, 1988 ; Boak et Turner, 2005**). Les processus évoluent à différentes échelles spatio-temporelles jusqu'aux étroites interactions qui existent entre le fluide et le sédiment (**Van Rijn, 1986**). La plupart des plages sableuses sont en « équilibre dynamique » entre les processus d'érosion et d'accumulation (**Bird, 1996 ; Cartier, 2011**). Les littoraux sableux sont des systèmes dynamiques qui peuvent être « stables », subir une érosion, ou bien avoir tendance à s'engraisser selon les forçages naturels et anthropiques (**Paskoff, 1998 ; Paskoff, 2005 ; Paskoff et ClusAuby, 2007**), auxquels ils sont soumis.

En ce qui concerne le forçage naturel, l'explication serait dans la conjugaison de plusieurs principaux facteurs. Primo, il s'agit d'une pénurie de sédiments enregistrée depuis la fin de la transgression postglaciaire, il y a environ 6000 ans B.P. ; transgression qui a engendrée la baisse de la compétence des fleuves côtiers à charrier d'énormes quantités de sédiments (**Giresse, 1989**). Secundo, il s'agit de la variabilité des conditions hydrométéorologiques et, enfin tertio, il y a la remontée du niveau marin (**Pirazzoli, 1993 ; Meur-Férec, 2006**). À ces causes naturelles, s'ajoutent les multiples actions anthropiques, telles que le piégeage des sédiments par les barrages hydroélectriques le long des fleuves pourvoyeurs de sédiments, l'extraction de granulats côtiers et marins, l'érection des infrastructures de transport et des ouvrages divers sur le haut de plage et dans les zones de transferts sédimentaires. Tous ces facteurs participent aux déséquilibres de la dynamique sédimentaire et amplifient, de ce fait, le phénomène d'érosion côtière.

### 1.1. Morpho-dynamique côtière :

Les littoraux sont des environnements particulièrement dynamiques à l'échelle de différents temps et des temps géologiques, l'évolution du littoral est contrôlée par des facteurs tectoniques et eustatiques. A l'échelle des temps historiques, les environnements côtiers subissent l'influence de la climatologie (des tempêtes, les vents dominants) et des processus côtiers comme les marées, les courants, les vagues.

L'étude de l'évolution morpho-dynamique des littoraux consiste à relier les forçages aux différentes échelles de temps et d'espace par leur développement morphologique (**Wright & Thom, 1977 in Christophe Brière, 2005**)

Les conditions hydrodynamiques (vagues, courants, marée) induisent un transport sédimentaire, lui-même responsable de l'évolution morphologique de la plage.

Cependant, les conditions hydrodynamiques locales dépendent des forçages au large aussi sont fortement influencées par la topographie locale. Ces interactions non linéaires ou rétroactions constituent la propriété principale des évolutions morpho-dynamiques des systèmes côtiers (**Didier Rihouey, 2014**).

L'évolution d'un système côtier est dépendante de l'état antérieur de ce système, des forçages hydro-météorologiques et des facteurs anthropiques tel que les aménagements littoraux : installation portuaires, industriels et touristiques, ainsi que la forte agglomération en front de mer. Selon R. PASKOFF 1993, la destruction des dunes côtières au profit de lotissement immobilier fait disparaître la réserve des sédiments nécessaire à l'équilibre des côtes (**Baba. T & all 2012**).

# Chapitre Généralités

## 1.2. Morphologie des plages :

Les plages bordent les zones littorales sous toutes les latitudes et sont soumises à différentes conditions climatiques.

La configuration de ces plages dépend de :

- La géométrie du littoral,
- La nature et du volume des sédiments disponibles,
- Le régime d'agitation lui-même dépendant du climat et du marnage (**Didier Rihouey, 2004**).

En fonction des limites d'action des vagues et de la marée, la zone littorale peut être subdivisée en :

- Domaine subtidal
- Domaine intertidal
- Domaine supratidal

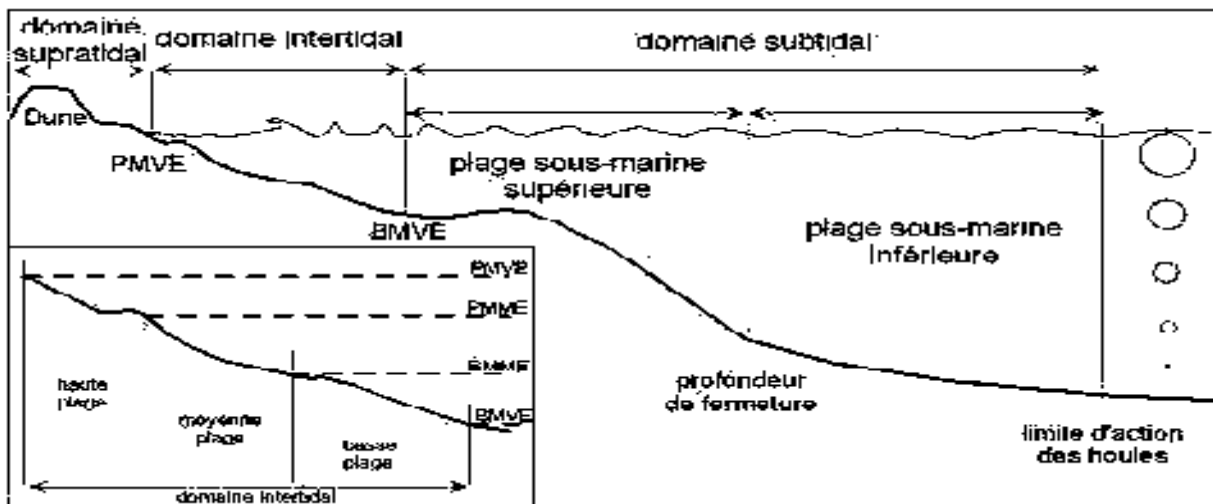


Fig N°I-1 Zonation du domaine côtier (Short (1999) et Wright et al (1982)).

## 1.3. Hydrodynamique littorale :

Les zones littorales sont des environnements dynamiques où se produisent de nombreuses interactions entre des différents agents de circulations hydrodynamiques. La majorité de ces agents sont des phénomènes oscillatoires qui se manifestent à différentes échelles spatio-temporelles (**Didier Rihouey, 2004**).

Une zonation du domaine côtier et de la plage s'effectue en fonction des processus hydrodynamique liés aux transformations des vagues lors de leur propagation :

- La zone du large (*offshore zone*): Les vagues ne subissent aucune déformation liée à la topographie des fonds.
- La zone de levée (*shoaling wave zone*) : Siège d'interactions non-linéaires entre les vagues incidentes et le fond, est caractérisé par une augmentation de la hauteur des vagues  $H$  et une diminution de leur longueur d'onde  $L$ .

- La zone des brisants (*wavebreaking zone*) : Où le déferlement des vagues se produit lorsque la profondeur d'eau devient faible devant la hauteur des vagues.

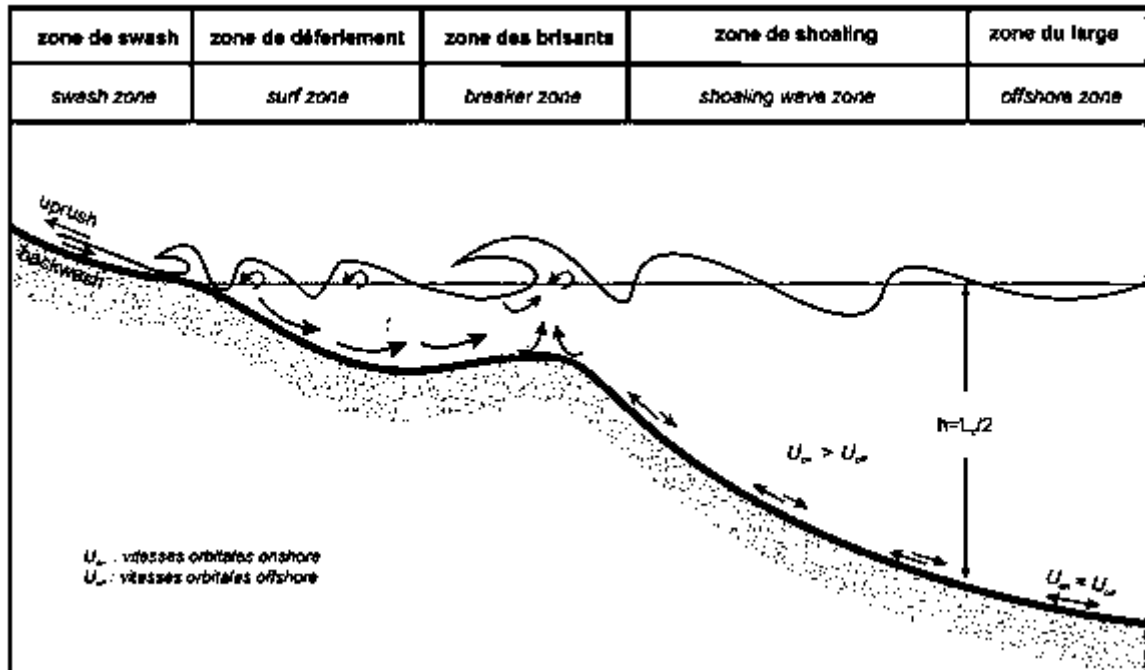


Fig N°2 :Processus hydrodynamiques induits par les vagues incidentes  $T > 20$  s.

## 2. Changement climatique :

A l'heure actuelle, le réchauffement climatique semble sans équivoque (GIEC, 2007), avec une élévation du niveau marin liée à une hausse des températures de l'atmosphère et de l'océan, la fonte de la neige et de la glace. Ce changement climatique à l'échelle globale affecte les forçages côtiers à échelle locale entraînant de potentielles modifications de leur intensité, de leur fréquence et de leur durée qui se répercutent ainsi sur les aléas érosion et submersion marine ainsi que sur l'évolution du littoral.

### 2.1. Les variations de niveau de la mer :

Les observations géologiques et archéologiques indiquent qu'au cours des derniers millénaires, le niveau de la mer a peu varié (pas plus de 0.1 mm par an globalement), les enregistrements marégraphiques disponibles depuis près d'un siècle témoignent d'une hausse significative au cours des dernières décennies en concordance avec le réchauffement climatique (Touzi, Guidou, 2016).

Sur l'ensemble de la planète, le niveau moyen de la mer s'est élevé de 1,8 mm/an entre 1961 et 2003, et d'environ 3,1 mm/an depuis 1992. D'après IPCC Fourth Assessment Report, 2007, cette vitesse d'élévation n'est pas uniforme et varie selon les régions des mers et des océans.

Elle peut être causée par des facteurs multiples et complexes qui résultent conjointement des effets des apports en eau (des glaciers et calottes polaires), de l'expansion thermique de l'eau sous l'effet de sa température, et de la répartition des masses d'eau sous l'effet des grands courants et des vents (Church et al, 2001 in Edouard Van Heeswyck, 2012).

### 3. Submersion marine :

La submersion marine est définie comme une inondation temporaire de la zone côtière par la mer dans des conditions météorologiques et marégraphiques sévères (**Mate, 1997**), généralement née de la conjonction de phénomènes extrêmes (dépression atmosphérique, vent, houle, pluie) et de forts coefficients de marée provoquant une surcote importante du plan d'eau.

D'après Nielsen (2009) et Challenger (2000), les tempêtes peuvent causer deux types de phénomènes sur les espaces côtiers du globe.

Les tempêtes entraînent une élévation du niveau moyen de l'eau car elles combinent les effets d'une faible pression atmosphérique et ceux de forts vents. Ensuite, les effets d'une forte houle s'ajoutent au phénomène : les vagues cassant sur les côtes, plus particulièrement sur les plages plates, vont s'étendre sur plusieurs mètres et générer des effets appelés "wave set up" et "swash" (**Anselme et al., 2011**), ce qui a pour conséquence d'amplifier le phénomène et surtout d'augmenter la taille de la zone atteinte.

Le "wave set up" correspond à l'élévation du niveau moyen de la mer par les hauteurs atteintes par les vagues, tandis que le "swash" est défini comme l'eau s'étendant sur la plage à la suite de l'arrivée d'une vague.

Le "swash" est capable de déplacer les sédiments dans le sens parallèle à l'arrivée des vagues (**Whittow, 2005**) et fait partie des facteurs accentuant l'érosion. La force et la zone d'impact élargie de ces vagues augmentent la vulnérabilité à l'érosion de la zone concernée (**Davidson-Arnott, 2001**).

De plus, le "swash" et le "wave set up" participent pour au moins deux-tiers à la hauteur totale des niveaux d'eau. La submersion marine est ainsi définie comme un aléa naturel se produisant sur les régions côtières du monde entier, mais n'étant dangereuse que si ces régions côtières sont anthropisées.

Les submersions envahissent généralement les terrains situés en dessous du niveau des plus hautes mers mais atteignent aussi parfois des altitudes supérieures si le battement des vagues et les projections d'eaux marines franchissent des ouvrages de protection et/ou la crête des cordons littoraux.

Les submersions marines peuvent durer quelques heures à quelques jours. Trois modes sont distingués :

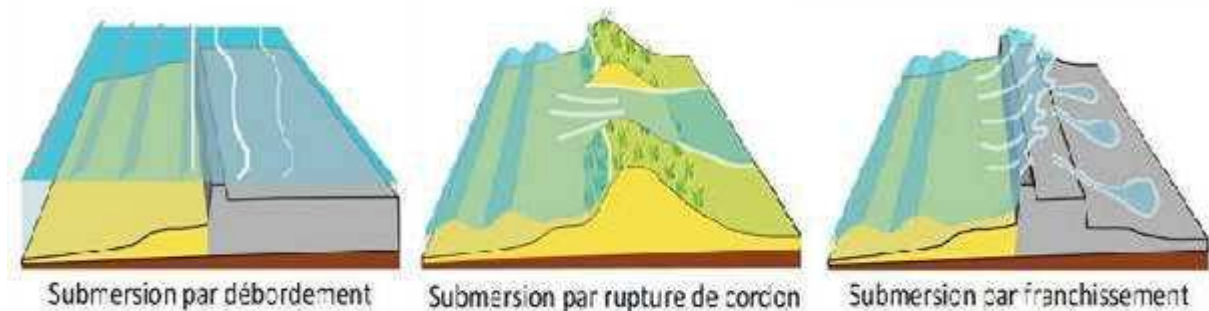
- **Submersion par rupture d'un cordon dunaire ou d'un ouvrage de protection lorsque les terrains situés en arrière sont en dessous du niveau marin** (brèche, érosion intensive, surverse). L'attaque de la mer durant une tempête peut rompre un cordon naturel ou un ouvrage de protection. L'eau peut alors s'engouffrer dans la brèche et envahir très rapidement la zone basse située en arrière, un phénomène de débordement peut également entraîner la destruction complète d'un cordon ou d'un ouvrage. Sur les cordons, ce phénomène a été nommé « barrierovertopping » (**Cariolet, 2011**).
- **Submersion par débordement, lorsque le niveau marin est supérieur à la crête du cordon dunaire ou des ouvrages.** Souvent, ce type de submersion a lieu dans des zones abritées comme les estuaires ou les ports. Dans ces zones situées à l'abri de l'agitation marine, les côtes d'arrière des ouvrages de protection et les altitudes des cordons sont souvent plus basses que sur les littoraux exposés. Cependant,

dans ces zones protégées les surcotes peuvent être plus importantes à cause des phénomènes de « concentration » de l'onde de tempête. En outre, les mouvements de seiches dans la plupart des ports peuvent engendrer des élévations du niveau d'eau d'amplitude métrique, en quelques minutes et ainsi contribuer de façon significative aux phénomènes de débordement (Cariolet, 2011).

- **Submersion par franchissement de vagues « paquets de mer »** : Ce mode de submersion, nommé *wave overtopping* en anglais, concerne toutes les inondations provoquées par le franchissement des vagues au-dessus de cordons naturels ou d'ouvrages de protection. Dans ce type de submersion, seule l'élévation du jet de rive est supérieure au sommet du cordon ou à la côte d'arase de l'ouvrage, et peut engendrer l'inondation de la zone basse située en arrière. L'énergie des vagues, le profil topographique de la plage et le cas échéant la forme de l'ouvrage, déterminent la hauteur du *run-up*, donc l'importance du franchissement. En outre, la direction et la force du vent influent sur le jet de rive et les projections d'eau, en favorisant leur franchissement lorsque le vent souffle de la mer vers la terre, et inversement (Cariolet, 2011).

Ces trois phénomènes peuvent se produire conjointement ou indépendamment. Cependant le phénomène de franchissement apporte des volumes d'eau négligeables en comparaison des volumes apportés par débordement ou rupture. De ce fait, lorsqu'une inondation est générée par débordement ou rupture, le franchissement n'est pas étudié.

Le calcul de l'aléa submersion marine est par conséquent mené pour chaque zone identifiée comme potentiellement submersible, en tenant compte des spécificités du site considéré (type d'ouvrage, dunes, type de franchissement, scénarios de rupture).



**Fig N° I-2** : Différents modes de submersion marine provoquée par des tempêtes avec surcotes associées (Cariolet, 2011 in Breilh, 2015)

# **CHAPITRE II**

## **Généralités sur la zone d'étude**

**II.1 Situation géographique:**

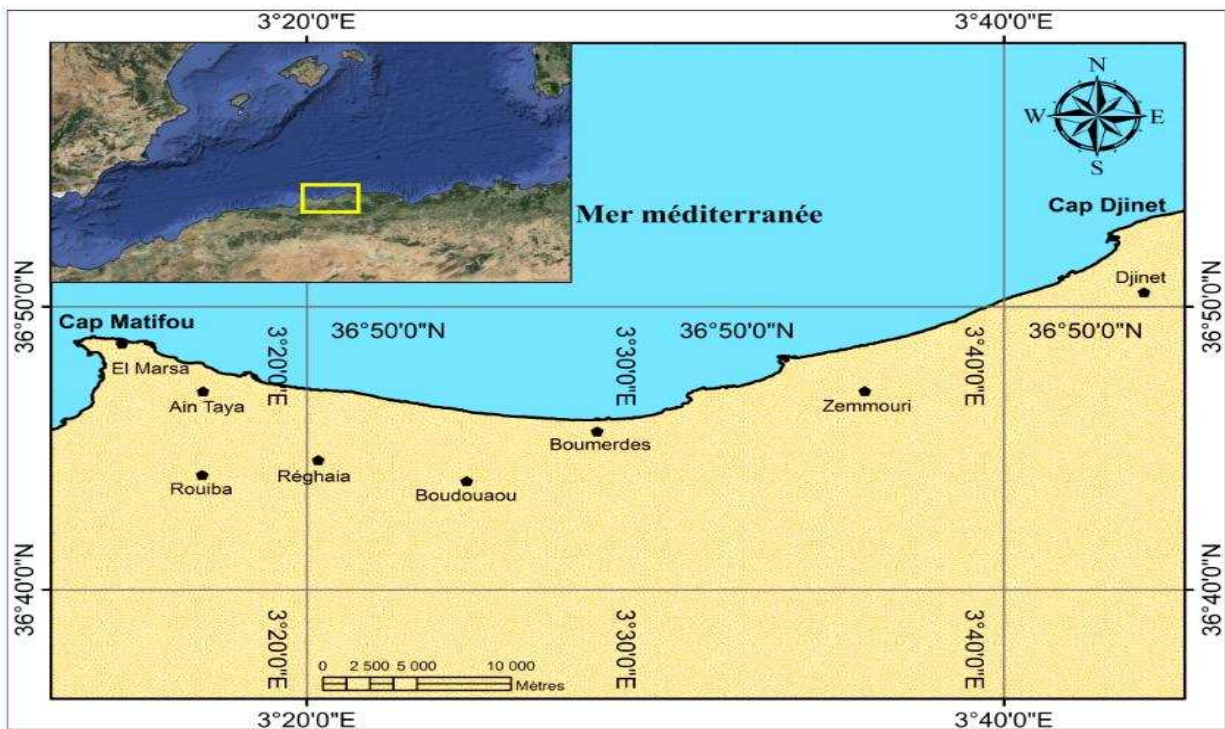
La grande baie de Zemmouri se situe à une quarantaine de km à l'Est d'Alger (Fig II.1). C'est une baie largement ouverte vers le nord d'environ 45 km, dont le linéaire côtier s'étale sur une cinquantaine de kilomètre (50 km). Elle est délimitée par le Cap Djinet à l'Est et le Cap Matifou à l'Ouest.

Le rivage prend une orientation Nord-Est, sud-ouest, et ses coordonnées Lambert sont :

- ❖ 3°13'18" et 3°43'24" de longitude Est.
- ❖ 36°52'45" et 36°48'48" de latitude Nord.

La grande baie de Zemmouri est limitée par :

- La Méditerranée occidentale au nord.
- La plaine de la Mitidja au sud.
- Le Cap Djenet à l'est.
- Le Cap Matifou à l'ouest.



**Fig N° II-1** Situation géographique de la baie de Zemmouri

### II.2 Cadres géomorphologiques:

- **Continental:**

La wilaya de Boumerdès se situe dans le Tell septentrional, elle est caractérisée par une géomorphologie présentant des paysages variés, correspondant à trois grands ensembles :

- La plaine littorale au Nord ;
- Les derniers contre forts de l'Atlas Mitidjien au Centre et au Sud ;
- Les avants monts de la Kabylie à l'Est ;

La zone de Zemmouri présente une grande diversité de formes littorales. Le produit d'interactions entre les processus morpho dynamique et la nature géologique du site donnent naissance à plusieurs systèmes morphologiques.

- **Littoral et sous-marine:**

La plaine littorale de la basse Kabylie dont fait partie la baie de Zemmouri, est une zone que partage en deux parties égales les petits massifs de Ménerville (Thénia). Cette baie est touchée par des houles de directions différentes suite à son ouverture, et se caractérise par des plages composant tout le littoral et des falaises formant seulement 5% de la côte (**P.A.C. 1997 in Ferrani Assia, 1998**).

On trouve les différentes formes suivantes :

A. *Les falaises:*

Les traits géologiques et géomorphologiques le long de la baie de Zemmouri laissent apparaître deux types de falaises :

- Les falaises entaillées en formation meubles.
- Les falaises édifiées en roches dures.

B. *Les plages sableuses:*

Une accumulation sur le bord de mer de sédiments fins dont la taille varie de sable fin en blocs est appelée PLAGES.

La zone de Zemmouri subit de fortes houles de différentes directions suite à son ouverture sur le large, elle est caractérisée par des plages composant la plus grande partie du littoral et des falaises formant seulement 5% de la côte (**Guidou&Touzi, 2016**).

Notre zone d'étude est caractérisée par la présence d'un important système sablonneux ininterrompu de couleur dorée, ce dernier commence au niveau de la plage de Surcouf (Ain Taya) et continue jusqu'au Cap Djinet. On peut ainsi distinguer des plages importantes ayant des aspects topographiques, morphologiques et morpho dynamiques différents (Réghaia plage, Corso, Zemmouri, Deca plage, BoudouaouElbahri, Elkabkab, Boumerdès ...etc.).

Le prolongement du relief terrestre sous la mer est la géomorphologie du plateau continental qui est liée à la tectonique et à la structure continentale. Notre zone d'étude, baie de Zemmouri se caractérise par l'étroitesse de son plateau continental, qui devient court au droit des îles Sanjas : 1.5 km et se rétrécit au niveau du mont de Thénia où la tectonique est active, avec une largeur qui ne dépasse pas 3 km. Par ailleurs, la largeur du plateau peut atteindre 1.5 km en face de la zone Est d'Isser (**P.A.C. 1997**).

Une succession de dunes sous-marines atteignant la zone de Cap Blanc et le Rocher Noir, sous l'effet de la houle, ces sédiments forment de grands amas dunaires qu'on retrouve seulement au niveau de Cap Djinet et Cap Blanc.

Un platier rocheux contournant le promontoire de Cap Matifou pour apparaître sous forme de lambeaux formant ainsi le platier de l'île Aguéli et les îles Sanjas. Le reste du fond est constitué de sédiments meubles avec parfois une végétation clairsemée.

Le talus continental est intensément buriné par un réseau de canyons (vallée sous-marine de Zemmouri) qui perturbe la régularité du plateau ainsi que l'évolution du trait de côte.

Les canyons de Cap Blanc et de Zemmouri sont parfaitement nets, en entaillant le rebord de ce talus. Ces deux ravins sous-marins, considérés comme étant le plus bel exemple et le plus important sur le plateau continental algérien, ne montrent aucun lien apparent, ni avec le réseau hydrographique (Oued Isser) ni avec le prolongement sous-marin des deux vallées de l'Oued Isser et l'Oued Sébaou.



Fig N° II-2 Grands ensembles morphologiques de la baie de Zemmouri

### II.3 Cadre géologique:

Du point de vue géologique, la grande baie de Zemmouri appartient aux zones internes des Maghrébides (Fig N° II-3), segment orogénique de la branche dinarique de l'orogène alpin périméditerranéen. La structure des maghrébides résulte de l'affrontement des plaques Africaines et Européenne. La subduction de l'Afrique sous l'Europe précède cette collision. (Durand, et al. 1980 ; Wildi, 1983 in Guidou&Touzi, 2016).

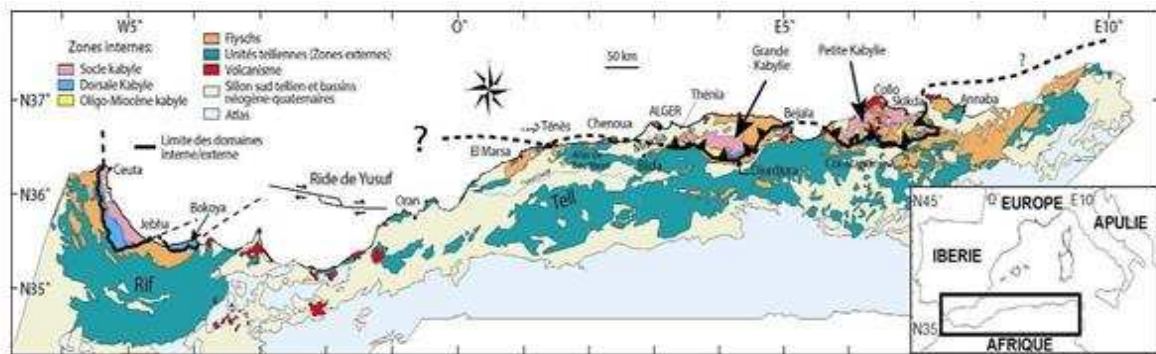


Fig N° II-3 Unités géologiques constituant la baie de Zemmouri (Domzig et al,2006)

La chaîne alpine de l'Algérie du Nord comprend des unités internes constituées par des nappes allochtones, dont certaines comportent un socle et sa couverture cénozoïque et d'autres ne comportent que des flyschs. Ces ensembles-là sont charriés sur d'autres unités appelées unités externes, se rattachant paléo-géologiquement au craton Africain. (Belanteur,2001)

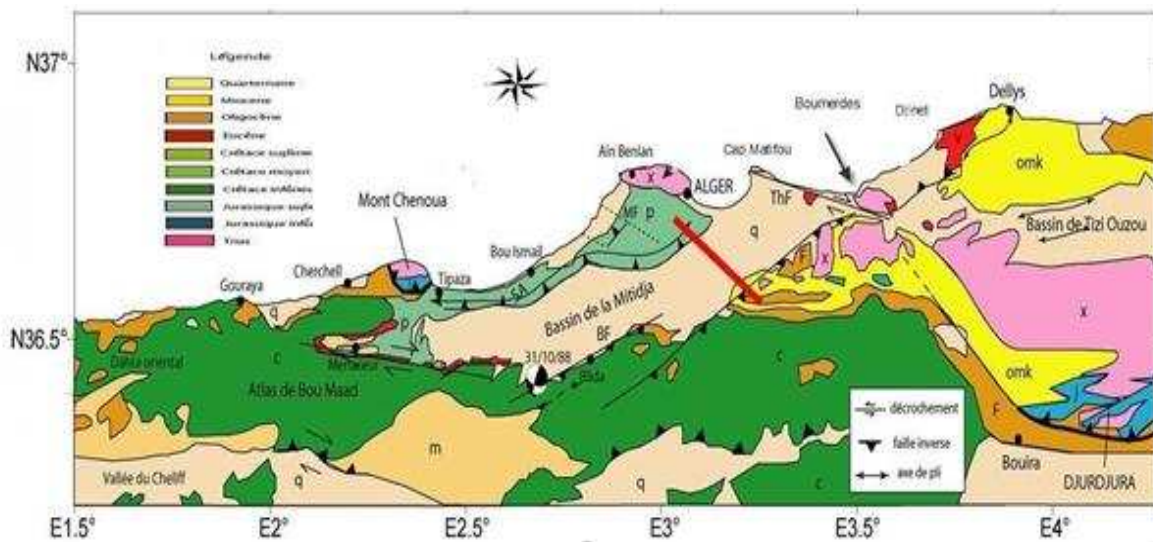


Fig N° II-4 Coupe géologique montrant les relations entre les différentes unités des Maghébides (Bracène, 2001)

### ➤ **Domaine interne :**

Ce domaine comprend :

- **Le massif de la grande Kabylie :** on distingue un socle cristallophyllien (Socle Kabyle), un paléozoïque non métamorphique et une couverture méso- cénozoïque appelée selon les auteurs, dorsale kabyle ou chaîne calcaire et les flyschs.
- **La couverture Nord Kabylie :** le socle kabyle est composé de massifs cristallophylliens métamorphiques (Gneiss, marbre, amphibolites, micascistes et schiste) et d'un ensemble sédimentaire écaillé allant du paléozoïque peu métamorphique (Ordovicien à Carbonifère) au Tertiaire (**Saadallah, 1992**).
- **La dorsale Kabyle :** la dorsale kabyle se présente sous forme d'écaillés d'âge permotriasique à eocène moyen (Lutétien). Du point de vue lithologique, ces formations comprennent des calcaires du Lias et de l'Eocène, des dolomies du Trias au Lias inférieur et des grès du Permo-Trias.

### ➤ **Domaine externe :**

Également appelé domaine Télien, composés des unités les plus basses qui sont développées au sud de la bande discontinue que forment les unités internes.

Les deux domaines externe et interne se sont affrontés suite au rapprochement des plaques africaine et européenne, ce qui a conduit à la fermeture du bassin des flyschs et du sillon Télien, l'écaillage de la dorsale kabyle et le déplacement des flyschs et des unités telliennes en nappes pelliculaires loin vers le sud.

Ce domaine comprend:

- **Le socle kabyle :** il est formé de terrains métamorphiques, c'est un socle qui constitue les massifs anciens et formant les pointements de Rocher noir à Boumerdes et de Cap Matifou à Alger. Les principaux faciès qui les composent sont des schistes et des micachistes.
- **Les intrusions magmatiques :** se rencontrent au Cap Matifou, elles englobent les andésites quartzitiques du Burdigalien et le socle Rhyolithique du vindobonien qui affleurent au niveau de Ain Taya.
- **Les formations moi-plio-quadernaire :**
  - **Le Miocène :** constitué de Granite, Granodiorite et l'Andésite dont quelques pointements sont visibles dans les reliefs de Thénia et du Cap Djinet.
  - **Le Burdigalien :** les dépôts burdigaliens sont formés de faciès argileux et des éléments conglomératiques pris dans une matrice gréseuse. Ces formations reposent en discordance sur le socle cristallophyllien.
  - **Le Vindobonien :** il fait partie du Miocène moyen, il est constitué de terrains marno-argileux et marno-calcaires, ses formations sont abondantes sur le long des falaises de Boudouaou El Bahri.

- **Le Pliocène :** en Algérie, le Pliocène est subdivisé selon deux faciès successifs : le Plaisancien et l'Astien (**Bouhamadouche, 1993**).
- **Le Plaisancien :** formé d'une série de marnes bleues qui affleurent sur les rives de Oued Réghaia et au niveau de la plage de Ain Taya.
- **L'Astien :** il s'observe sur l'Oued Corso et sur les falaises d'Ain Taya, les formations astiennes correspondent à des grès carbonatés.
- **Le Quaternaire :** il recouvre la majeure partie de la zone d'étude, il constitue les dépôts de la plaine alluviale de l'oued Isser, ainsi qu'une grande partie des versants de deux rives, mais dans la partie nord, on trouve que les dépôts marins anciens.

Les dépôts de quaternaires sont représentés par des sédiments marins alluviaux et éoliens, des sables grossiers, des grès caillouteux.

- **Les dépôts de plage :** Les plages qui forment tout le rivage sont sableuses, contenant des débris d'organismes marins actuels. En plus des dépôts marins l'alimentation de ces plages est sans doute liée aux sables rubéfiés provenant des reliefs environnants (tel que les falaises et des Oueds Boumerdès et Tatreg).

Ces dépôts sont caractérisés aussi par des anciennes accumulations qui affleurent aux pieds des falaises, ces dunes de couleur beige étaient constituées d'un sable consolidé lité et renfermant de coquilles. A Boumerdès et à Boudouaou El bahri ces dunes n'existent plus.

Actuellement, elles sont enlevées à cause de la construction du boulevard Front de mer à Boumerdès et le mur de soutènement de la falaise à Boudouaou El Bahri.

- **Les sables rouges :** ils reposent sur le terrain plus anciens, constituent ainsi des terrasses marines très élevées et très étendues, ces sables sont limoneux et rubéfiés. Ils se distinguent par des alluvions plus anciennes et par leur grande homogénéité.
- **Les alluvions récentes :** elles sont distribuées le long d'oueds Réghaia, Tatrag et Boumerdes. Elles sont composées essentiellement de sables et de graviers.
- **Les alluvions anciennes :** elles forment les dépôts de vallée de l'oued de Boumerdes. Elles forment ainsi des terrasses horizontales dont la puissance maximale est de l'ordre de 15m. les différents affleurements sont concentrés généralement au sud de la partie amont de l'Oued Boumerdes, ces alluvions sont constituées de sables roux, de galets et par endroits de gros blocs conglomératiques. Ces éléments dont la taille varie des graviers centimétriques aux blocs métriques, sont emballés dans une matrice argileuse. Ces dépôts correspondent à une sédimentation continentale torrentielle, recouvrant les marnes plaisanciennes.

Les formations géologiques résistantes contribuent très peu dans l'alimentation du stock sédimentaire côtier actuel. Les sédiments sableux qui se présentent sur les plages de la baie proviennent essentiellement de l'érosion des formations quaternaires. Le stock sédimentaire actuel localisé sur une bande étroite le long de la côte, est très varié. La variabilité spatiale des caractères granulométriques des sédiments influence beaucoup sur la magnitude des transferts sédimentaires qui s'opèrent au niveau de cette côte. De ce fait, la connaissance des transports sédimentaires long-shore et cross-shore vers l'avant côte entre cap Matifou et cap djinet s'avère nécessaire pour comprendre la morphodynamique de cette portion côtière.

### II.4 Cadre météo-marin :

Le bassin méditerranéen, qui jouit d'un climat humide et tempéré avec une pluviométrie comprise entre 800 et 900 ml /an influence directement sur le climat de la wilaya de Boumerdes ou se trouve la baie de Zemmouri qui est caractérisé par une saison pluvieuse entre le mois de Septembre et le mois de Mai, et par un été sec et ensoleillé, les températures de cette zone varient entre 8°C et 38°C. La température moyenne est de 25°C et l'humidité relative est constante et élevée durant toute l'année.

La température dans la zone côtière de Boumerdes connaît un adoucissement due à la proximité de la mer et à la présence de nombreux cours d'eau, avec une moyenne annuelle de 18°C près des côtes et de 25°C à l'intérieur des terres. L'écart des températures mensuelles minima et maxima varie entre 7.6°C en mois de Décembre et 33.8°C en mois d'Août (PATW.2016).

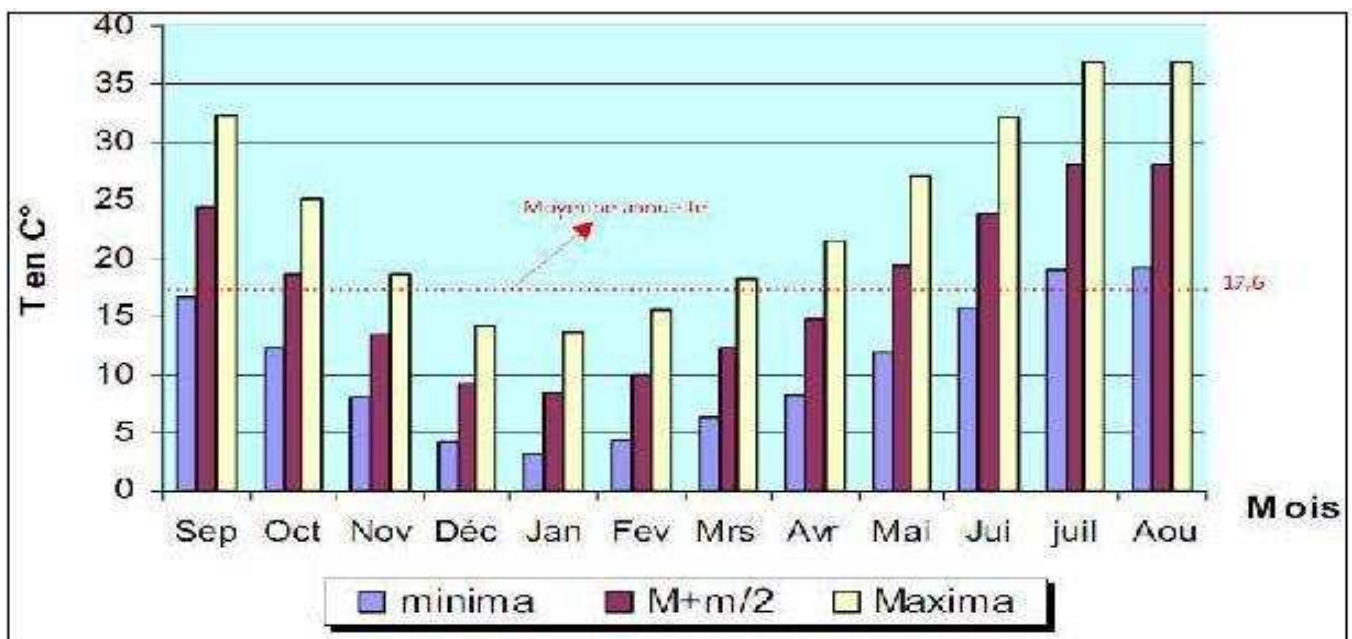


Fig N° II-5 Diagramme des températures de la wilaya de Boumerdes(PATW, 2016)

## CHAPITRE II Généralités sur la zone d'étude

La pluviométrie est irrégulière et varie entre 600 et 1000 mm/an du mois d'octobre jusqu'au mois de mars. Les régions du Nord-Est de la wilaya de Boumerdes sont plus arrosées que le reste des régions avec une pluviométrie moyenne supérieure à 900 mm/an. La période pluvieuse de la wilaya s'étend entre le mois d'octobre et le mois de mars avec un maximum en mois de décembre de 122.5 mm/an et une moyenne de 756 mm/an soit 92% du total des précipitation annuelles, quant à la période sèche, s'étend entre le mois d'avril et le mois de septembre avec de rare pluies 67 mm/an soit 8% des précipitations annuelles.

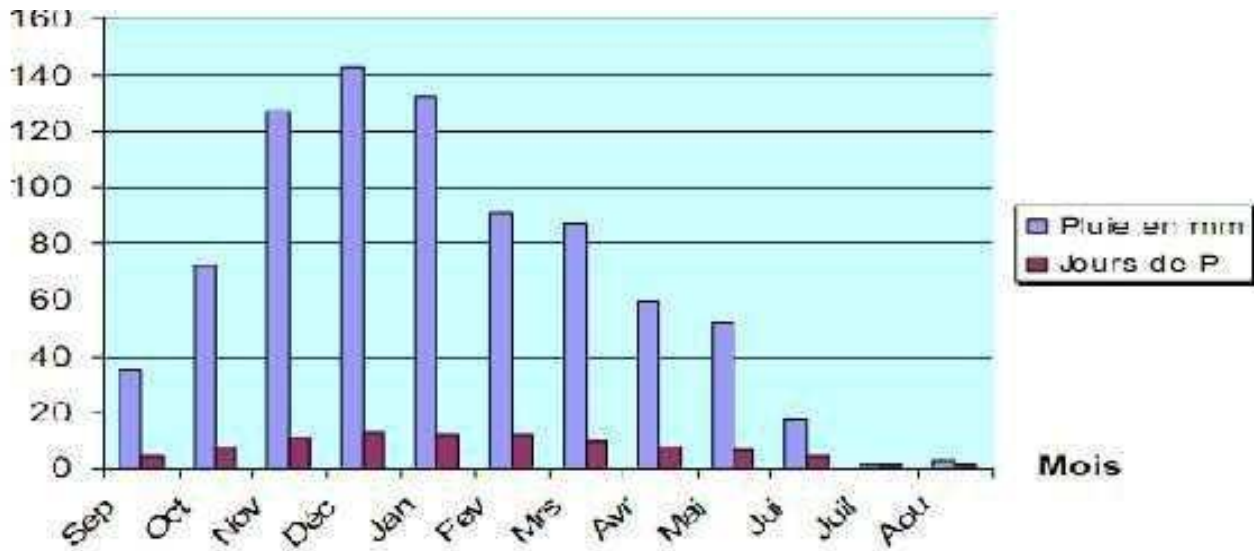


Fig N° II-6 Diagramme de pluviométrie de la wilaya de Boumerdes(PATW, 2016)

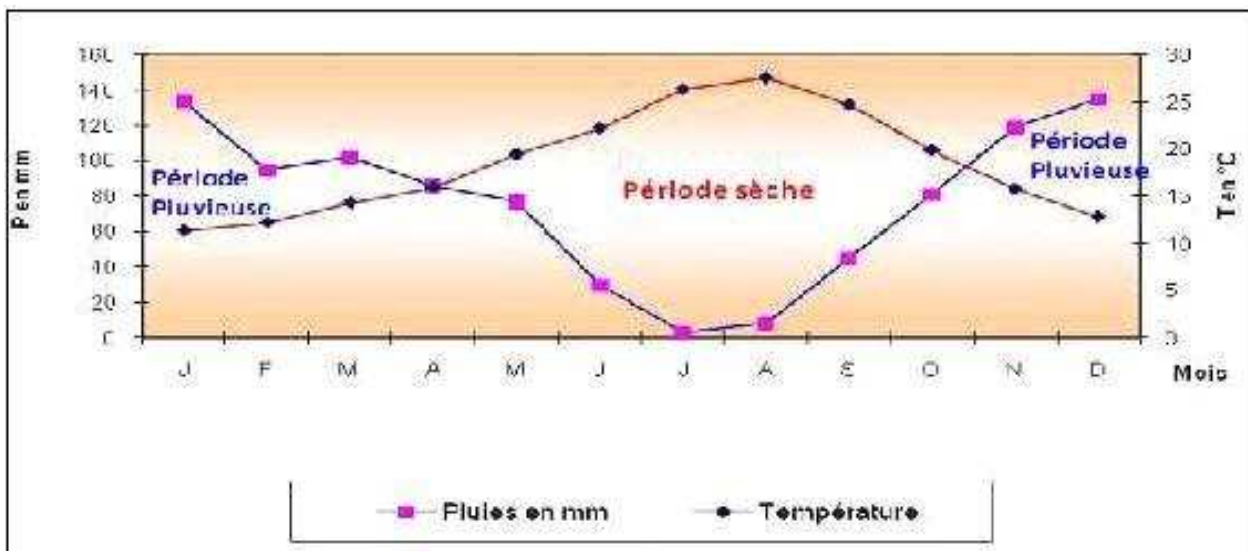


Fig N° II-7 Diagramme ombrothermique de la wilaya de Boumerdes(PATW, 2016)

### II.5. Condition météo-océanique :

#### II.5.1. Les vents :

Pour une région côtière, la connaissance des régimes des vents a une extrême importance. En effet ils sont des générateurs de vagues et de courants superficiels, leur impact croît avec leur vitesse (**Moulin 1978**). Ils jouent donc un rôle important dans l'évolution géomorphologique des milieux littoraux d'une part, surtout les côtes basses d'accumulations des régions à climat sec (**Boutiba, 2006**) et d'autre part dans l'évolution des forçages hydrométéorologiques responsables de la mobilité des sédiments le long des côtes (**Boutiba, 2006**).

Les vents dominants sont ceux de l'Ouest et du Nord-Ouest avec une prédominance de novembre à avril, par contre les vents d'Est et nord est prédominent en été avec des brises de mer et de terre.

La répartition annuelle montre que le vent d'Ouest prédomine de décembre à Avril.

Les vents dominants sont de direction Sud -Ouest (26,6 %), ceux du Nord (20%) et du Nord-est (18 %). En hiver, la part des vents représente 64,96% du total de l'année et le reste des autres variations se répartit à travers les autres saisons (PATW, 2016).

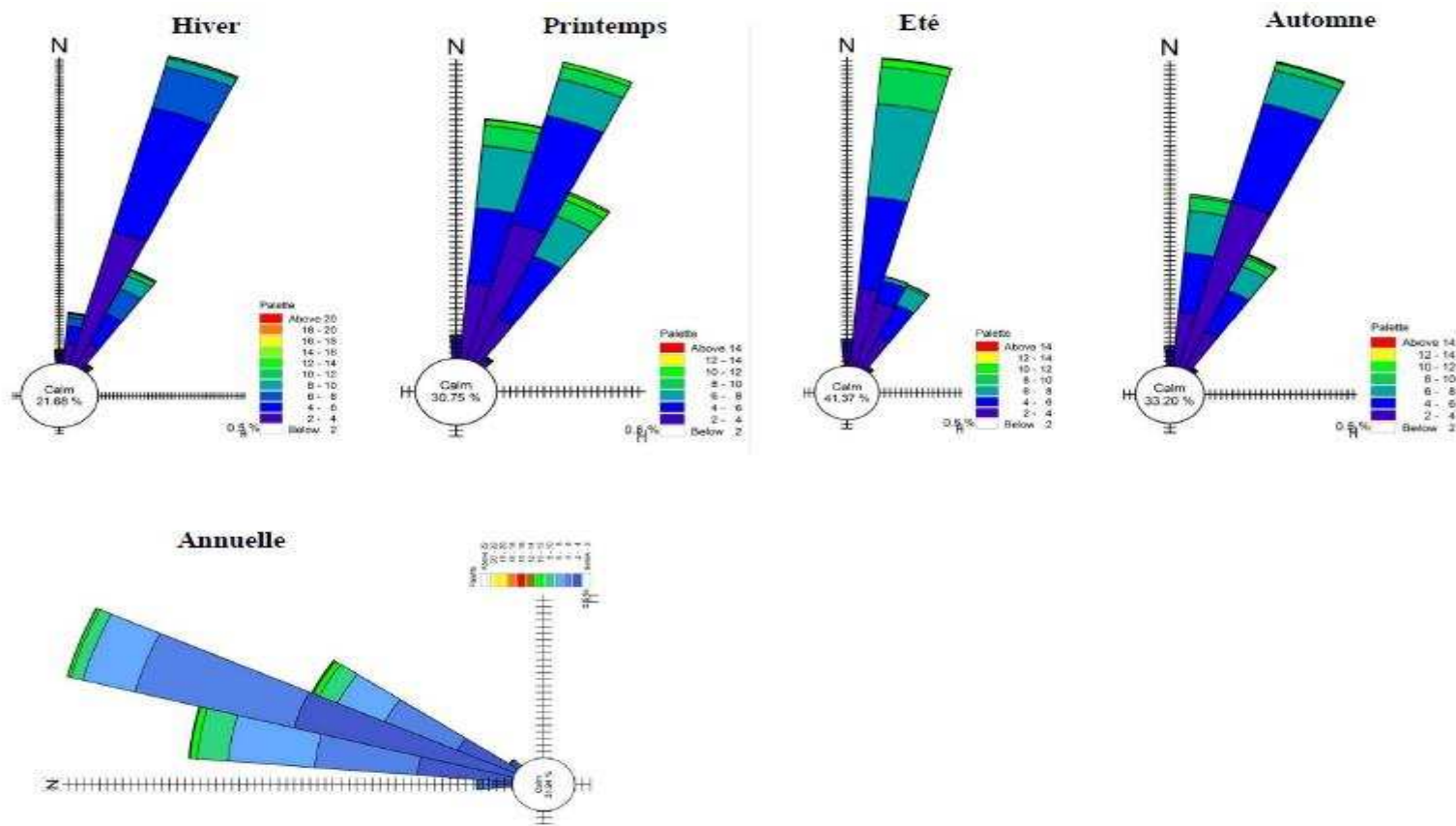


Fig N° II-8 : Roses annuelle et saisonnières des vents au large de la grande baie de Zémouri (Source MEDATLAS 1999-2004).

## 5.2. Les houles :

La houle est une oscillation de la partie superficielle du plan d'eau, celle-ci étant générée initialement par le vent. Elle se propage plus ou moins régulièrement jusqu'à l'approche des côtes où elle subit des modifications par réfraction, diffraction et déferlement (**Guilcher, 1979**)

La détermination des caractéristiques de la houle au large permet de :

- Mieux analyser les constatations faites à l'évolution du littoral.
- Déterminer les dimensions des ouvrages de protection.
- Estimer le transit sédimentaire.

Les données utilisées pour étudier les houles et l'état de la mer de la baie de Zémouri sont issues des mesures des observations qui ont été effectuées au large des côtes algéroises lors de la campagne MEDATLAS.

Les données de houles au large sont extraites à partir de la base de données MEDATLAS sous forme de tableaux bi-variables contenant les fréquences d'apparition annuelle et saisonnière. Ces fréquences d'apparition sont calculées à partir de la série de données enregistrée entre 1999 et 2004 au niveau de la station la plus proche du site d'étude localisée à 3°E et 37°N au large de la Baie d'Alger par 250 m de profondeur.

Les fréquences d'apparition annuelle et saisonnières des houles par direction sont mentionnées dans le tableau 6 et les roses représentées dans les figures (19 et 20).

**Tab N°II-1** : Fréquences annuelle et saisonnières des houles au large par direction entre 1999 et 2004 (Source MedAtlas)

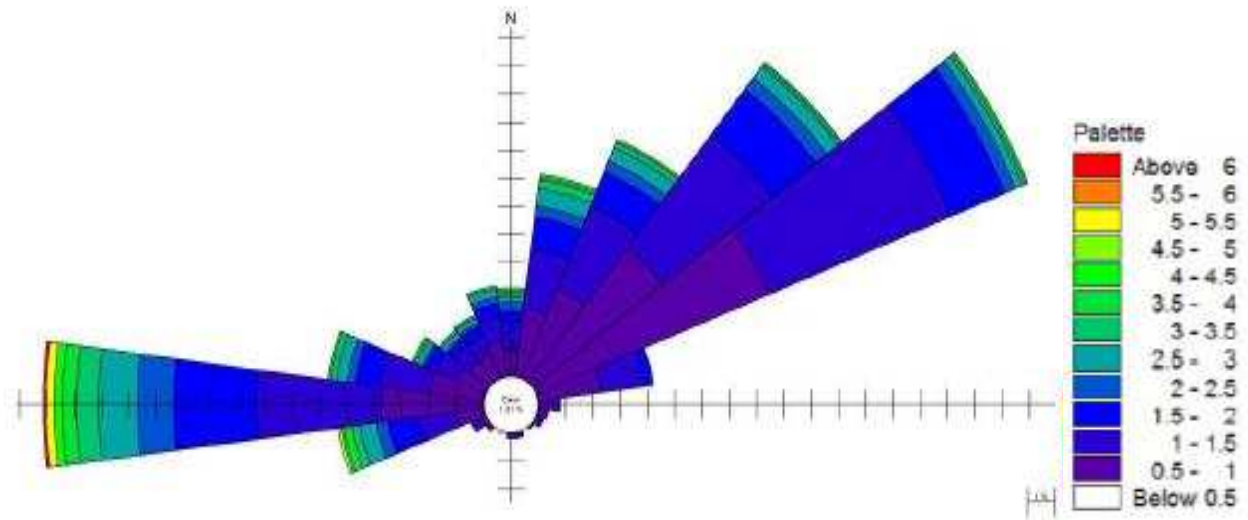
	Annuelle	Hiver	Été	Automne	Printemps
N (0° ± 15°)	13,57	19,5	7,2	15,16	11,93
NE (45° ± 15°)	42,95	25,8	65,48	37,95	45,09
E (90° ± 15°)	5,47	2,9	10,02	3,79	6,26
SE (135° ± 15°)	0,4	0,9	0,3	0,5	0,3
S (180° ± 15°)	0,4	1,4	0,2	0,6	0,1
SW (225° ± 15°)	0,8	2,2	0	1,4	0,4
W (270°N ± 15°)	27,3	33,7	12,92	31,1	28,16
NW (315°N ± 15°)	7,7	11,7	3,5	8,29	6,28

L'analyse statistique des directions de houles au large nous a permis de tracer les roses annuelle et trimestrielles (Figs. II.9 et II.10). L'analyse de ces roses fait ressortir que les directions dominantes proviennent des secteurs :

- Ouest à 27% du temps annuellement, mais avec une fréquence d'apparition plus importante en hiver (34%) qu'en été (13%).
- Nord Est à 43% du temps annuellement, mais avec une fréquence d'apparition plus importante en été (66%) qu'en hiver (26%).

Les pourcentages d'apparition des deux secteurs (NE et W) sont similaires durant l'année et les deux trimestres (Automne et Printemps), ils s'élèvent en moyenne et respectivement à (42% et 29%). En conclusion, les houles en provenance du secteur Nord-Est prédominent en été. Les houles qui proviennent du secteur Ouest prédominent en hiver alors que les houles qui

proviennent des deux secteurs Nord-Est et Ouest prédominant durant l'automne, le printemps et annuellement.



**Fig N° II-9** Rose annuelle des houles (MEDATLAS, 1994-2004).

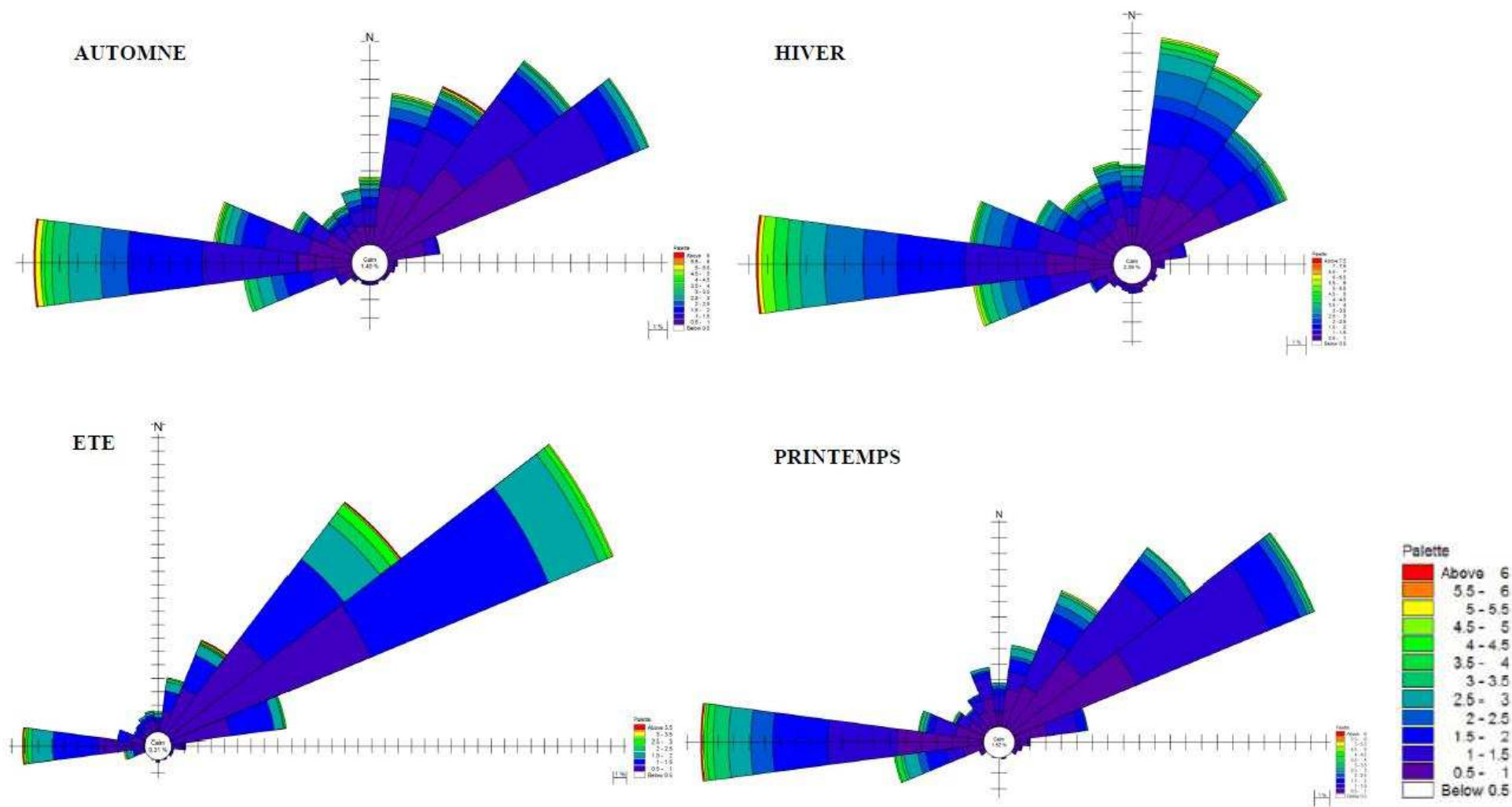


Fig II.10 : Roses saisonnières des houles au large de Cap Djinet (Source MEDATLAS- 2014)

# **CHAPITRE III**

**Modélisation de l'hydrodynamique  
sédimentaire du littoral de la baie  
de Zemmouri**

### **III.1 Introduction**

La zone de déferlement est le siège d'une intense activité sédimentologique. Dans certaines conditions de mer à faible marnage, où le déferlement se produit toujours dans la même zone, on constate une forte accumulation de matériaux sous forme de barre qui provoque et facilite le déferlement. Le déferlement des vagues engendre des courants (de dérive, de retour, d'arrachement) qui vont à leur tour agir sur le processus de déferlement et ainsi de suite.

Si la direction des houles incidentes n'est pas perpendiculaire à la côte, une forte composante parallèle à la côte est générée, conduisant aux courants de dérive. Le transport de sédiments non cohésifs dépend des mouvements d'eau générés soit par les courants, soit par les vitesses orbitales liées à la houle, soit le plus souvent par une combinaison de ces deux phénomènes.

La dérive littorale des sédiments est un résultat direct des propriétés des sédiments et le courant de dérive généré par l'incidence de la houle oblique. Les houles associées aux courants côtiers sont les facteurs générateurs du transport côtier du sable. Les estimations de la dérive littorale des sédiments doivent reposer sur des études analytiques de l'évolution du trait de côte prenant en compte le régime des houles et des courants dans le secteur d'étude sur une période assez longue.

La suite du logiciel MIKE 21, développée par DHI, permet de modéliser numériquement le transport sédimentaire intégrant l'ensemble des paramètres entrant en jeu dans cette problématique en prenant en compte un couplage dynamique entre la propagation de la houle, la courantologie et le transport sédimentaire.

Afin de comprendre le fonctionnement hydrosédimentaire du littoral de la baie de Zemmouri une modélisation véritablement bidimensionnelle de la propagation de la houle, de la courantologie et du transport sédimentaire est mise en œuvre.

### **III.2 Présentation de la modélisation**

#### **III.2.1 Principe de la modélisation :**

Le principe général et les phases de la modélisation mises en œuvre pour étudier les mouvements sédimentaires dans la zone d'étude :

- Modélisation de la propagation de la houle à l'échelle de la Baie
- Modélisation de la propagation de la houle à l'échelle de la plage
- Détermination de conditions climatologiques représentatives
- Modélisation couplée propagation de houle / courantologie / transport sédimentaire à l'échelle locale basée sur les conditions représentatives définies au préalable.

#### **III.2.2 Présentation du modèle :**

Le modèle numérique utilisé dans le cadre de cette étude est le MIKE21-DHI de l'institut hydraulique Danois qui est un puissant système de modélisation numérique des phénomènes physiques (Houle, Courant et Transport sédimentaire), il permet de faire des simulations à grande échelle et d'augmenter la résolution des mailles de calculs à certains endroits du domaine simulé à l'aide de grilles imbriquées.

Mike 21 est un modèle de houle spectrale basé sur la conservation de la densité de l'action d'onde qui permet de simuler la propagation des états de mer dans les domaines offshore et côtier. Le modèle inclus les effets de la réfraction et de shoaling liés aux variations de

bathymétrie, la génération de la houle par action du vent, la dissipation de la houle. La résolution par méthode des volumes finis se base sur le maillage flexible composé d'élément triangulaire dans le plan horizontal. Ces éléments peuvent être affinés dans les zones d'études d'intérêt particulier (DHI, 2014).

Une étude bidimensionnelle de la propagation de la houle, de la courantologie et du transport sédimentaire est mise en œuvre ; celle-ci est effectuée avec les modules HD, SW et ST, respectivement, de la suite du logiciel MIKE 21. Une courte description de ces modules est donnée ci-après.

Dans un premier temps, il s'agit de déterminer à l'aide du modèle SW le climat de houles dans la région d'intérêt. Les sortants de ce module ainsi que les niveaux d'eau aux frontières ouvertes de la grille de calculs hydrodynamiques et les vents en surface permettront de calculer les courants causés par l'effet combiné des vents et des houles au moyen du module HD. Finalement, les courants générés par le module HD et les données de houles générées par le module SW seront pris en entrée par le modèle de transport de sédiment ST qui calcul alors le transport de sédiments à chaque pas temporel des simulations hydrodynamiques ainsi que le transport net de sédiments durant la période de simulation.

○ **MIKE 21 SW**

MIKE 21 SW est le module de propagation de la houle spectrale. Le modèle simule la propagation, l'évolution et la transformation des vagues générées par les vents et des houles au large et dans les zones côtières.(DHI,2014).

MIKE 21 SW prend en compte la génération de la houle par action du vent, les interactions non linéaires vague-vague ; la Dissipation due au frottement sur le fond ; la Dissipation due au déferlement ; la Réfraction et le Shoaling due à la variation de la profondeur ; les Interactions vagues-courants et les effets de la variation temporelle de la profondeur.

○ **MIKE 21 HD**

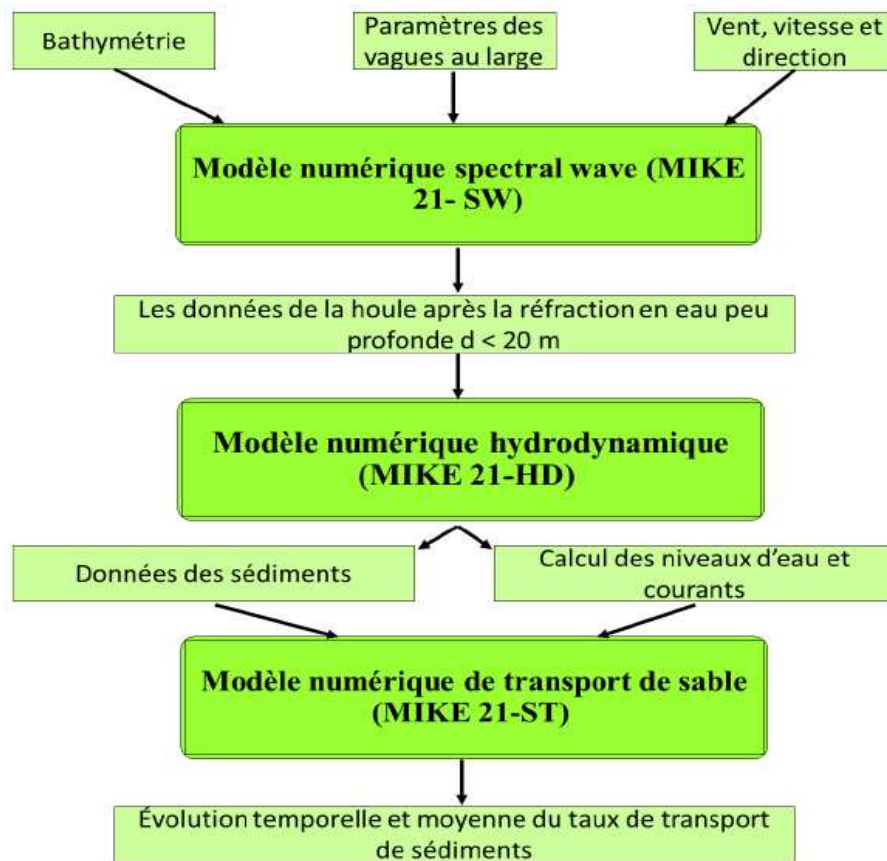
MIKE 21 HD constitue le noyau de la suite logicielle MIKE 21 en fournissant les paramètres hydrodynamiques nécessaires aux autres modules. C'est un modèle bidimensionnel pour les calculs hydrodynamiques à surface libre qui permet de simuler les variations du niveau d'eau et des écoulements, moyennés sur la colonne d'eau, en fonction des paramètres de forçage des zones côtières et du large (DHI, 2014). Le modèle hydrodynamique de MIKE 21 est utilisé pour simuler de nombreux phénomènes hydrauliques dont la marée, les courants induits par le vent et la houle ainsi que les surcotes. MIKE 21 HD prend également en compte les phénomènes d'immersion et émergence des côtes.

○ **MIKE 21 ST**

MIKE 21 ST calcule le transport sédimentaire sur le fond et en suspension sous l'action combinée des courants et de la houle. Dans la zone de déferlement, les courants de retour sont inclus. Le modèle est déterministe et demande un minimum de calibration. Les taux initiaux de sédimentation/érosion sont calculés sur base de l'équation de conservation de la masse sédimentaire.

○ **MIKE21/3 FM**

Le modèle couplé MIKE21/3 FM comprend différents modules tels que HD, ST, et SW, etc. Nous pouvons les choisir dans la simulation. Le modèle comprend également un couplage dynamique entre les modules HD et SW.



**Fig N°III.1** : approche méthodologique adoptée pour la modélisation intégrée de l'hydrodynamique.

### III.2.3. Construction du modèle

#### III.2.3.1. Emprise et bathymétrie

Les changements morphologiques du domaine marin et les migrations longitudinales et/ou transversales des corps sédimentaires ont pu être observés sur des cartes bathymétriques. Une carte bathymétrique a été acquise pour la baie de Bou Ismail à partir de plusieurs levés au large réalisés par GEBCO, afin d'obtenir une carte globale de la région à partir de la ligne de cote jusqu'au large (plus de 50 m de profondeur).

GEBCO (General Bathymetric Chart of the Oceans) est une organisation sous l'égide de la Commission Océanographique Internationale de l'UNESCO et de l'Organisation Hydrographique Internationale visant à fournir des données bathymétriques pour l'ensemble des océans. Les données fournies sont principalement basées sur des mesures acoustiques réalisées depuis des navires et complétées par des données satellite (radar altimétrique).

### III.2.3.2. Création 2D Bathymétries sous le maillage

Le module “*MeshGenerator*” nous offre un environnement pour la création, l'édition et la présentation de bathymétries numériques 2D détaillées. “*MeshGenerator*” génère un format souple de maillage (\*.MESH).

Le programme nous fournit les utilitaires pour importer des données du trait de côte, notamment les bathymétries. Pour faciliter le processus d'élaboration manuelle des données et leur présentation, des cartes graphiques des images de fond peuvent être importées et superposées aux données bathymétriques.

Diverses options d'interpolation sont disponibles pour fournir la meilleure méthode possible pour notre type de données. Lorsque la bathymétrie a été préparée, nous pouvons utiliser les utilitaires d'exportation de données bathymétriques de sortie dans différents formats.

La création d'une bathymétrie est généralement divisée en les phases suivantes : le choix du système de projection, le traitement des données bathymétriques XYZ, la génération du maillage et l'interpolation des valeurs bathymétriques sur le maillage.

L'emprise et le maillage du modèle sont illustrés dans la Figure III.2 Le maillage est composé d'éléments triangulaires dont la taille a été ajustée suivant les évolutions bathymétriques et la précision souhaitée. Le pas de maille varie de 300m environ dans la zone offshore entre les isobathes -50 à -20 m puis passe à l'ordre de 10m dans la zone côtière comprise entre l'isobathe -20 m et les terres.

La carte bathymétrique du modèle est obtenue par interpolation des sondes bathymétriques et des levés topographiques sur le maillage ainsi définis. La bathymétrie obtenue (Fig III.3) présente des valeurs comprises entre -50m et 0m par rapport au zéro hydrographique.

### III.2.3.3. Interprétation des résultats bathymétriques

L'analyse de la carte bathymétrique de baie de Zemmouri, fait ressortir deux zones morphologiques bien distinctes sont mises en évidence :

- **La zone côtière** : montre des isobathes généralement perturbées (entre 1 à 5 m) et une morphologie particulière caractérisée par la présence de rides d'avant côte discontinue (séparés par un sillon), bien développée à l'approche de la côte et par des fosses de lévigation. Ce type de morphologie témoigne d'une mobilité de ces fonds sous l'action des houles et les courants engendrés avec ses houles. Par conséquent, cette zone est caractérisée par une topographie complexe et la nature du fond marin dépend essentiellement des fluctuations hydrométéorologiques.

La zone présente un fond marin assez régulier dont les isobathes sont très rapprochées traduisant une pente abrupte. Cependant la partie Ouest de la Baie de Zemmouri présente deux irrégularités où on constate une variation de la pente qui devienne un peu douce au niveau de BoudouaouElbahri et aussi aux allant tour de Ain Taya qui est probablement dû aux apports des sédiments terrigènes par l'Oued de Boudouaou et Oued Réghaia respectivement et la présence des ouvrages de protection dans cette zone qui perturbe la dynamique sédimentaire et ce n'est qu'à partir de -5 m que ces isobathes redeviennent régulières.

- **La zone au large** : présence des isobathes parallèles au rivage, elles sont relativement espacées traduisant ainsi un fond régulier. Ces fonds sont moins actifs par rapport à la zone côtière. Cependant, à l'est de Cap Djinet, les isobathes sont serrées, ce qui présente probablement un petit chenal avec une pente moyenne de 1 %

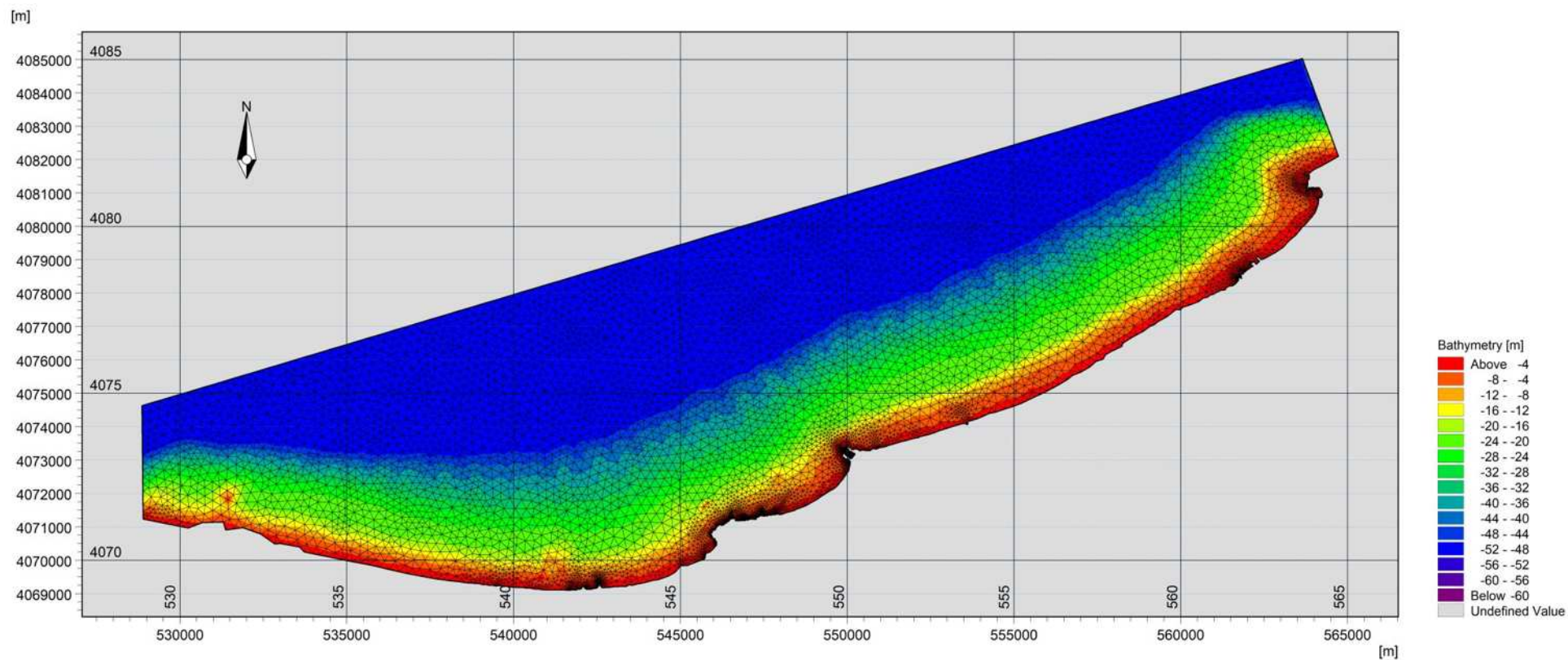


Fig N°III.2 : Emprise et maillage du modèle côtier de la Baie de Zemmouri.2017.

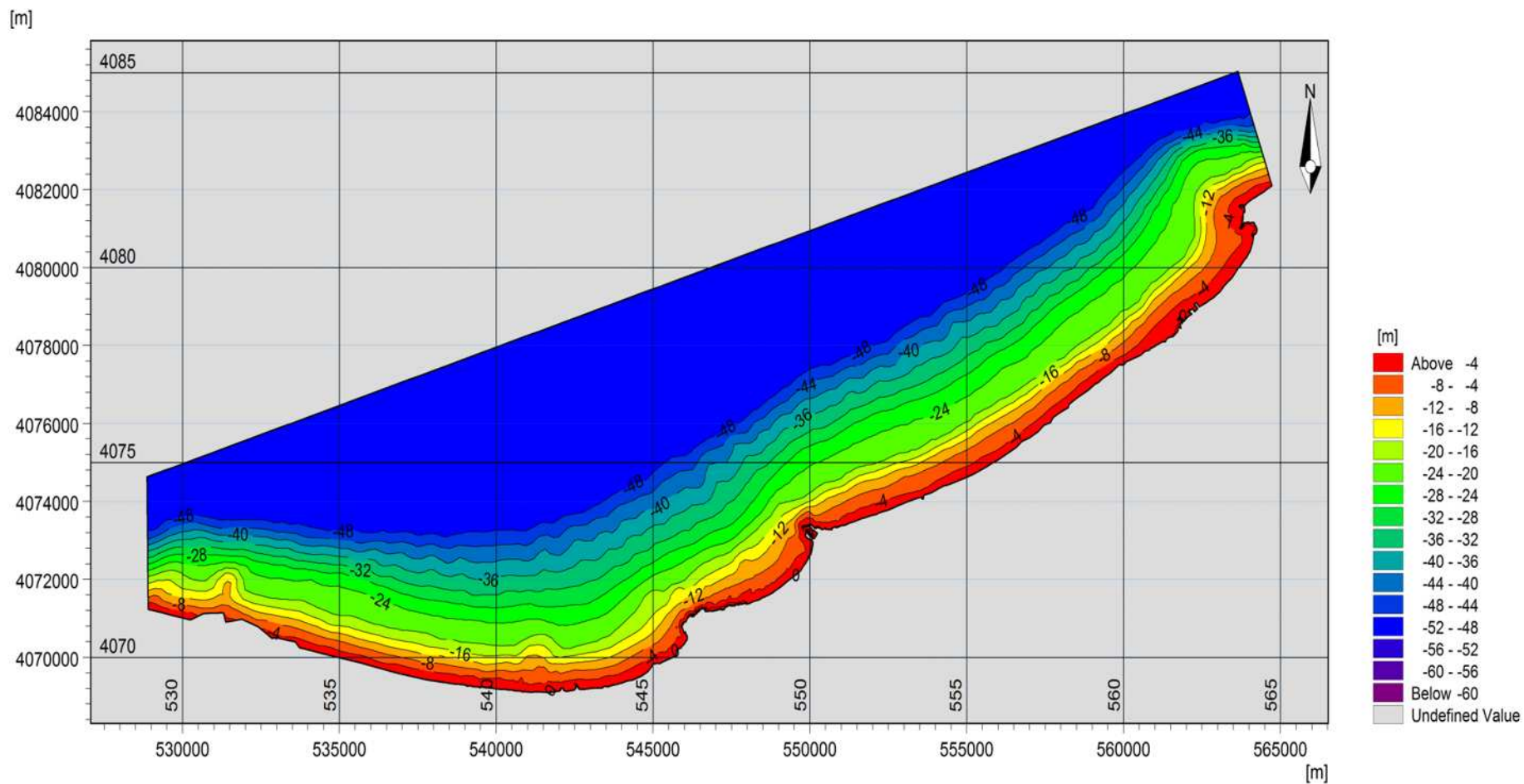


Fig N° III.3: Carte bathymétrique de la Baie de Zemmouri 2017.

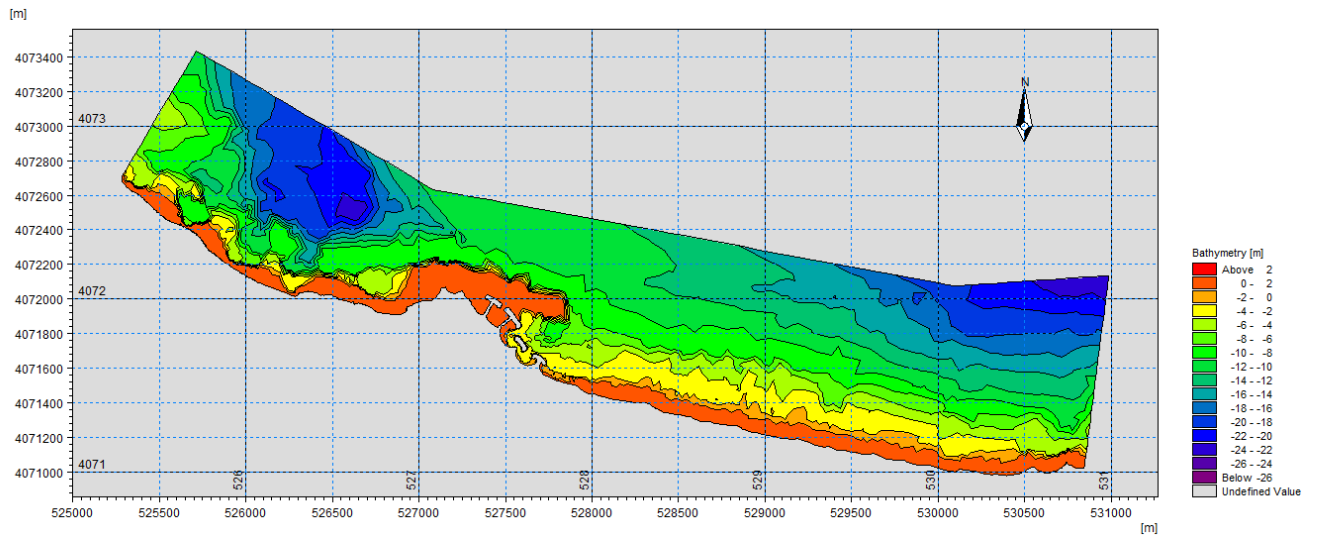


Fig N° III.4: carte bathymétrique de Ain Taya

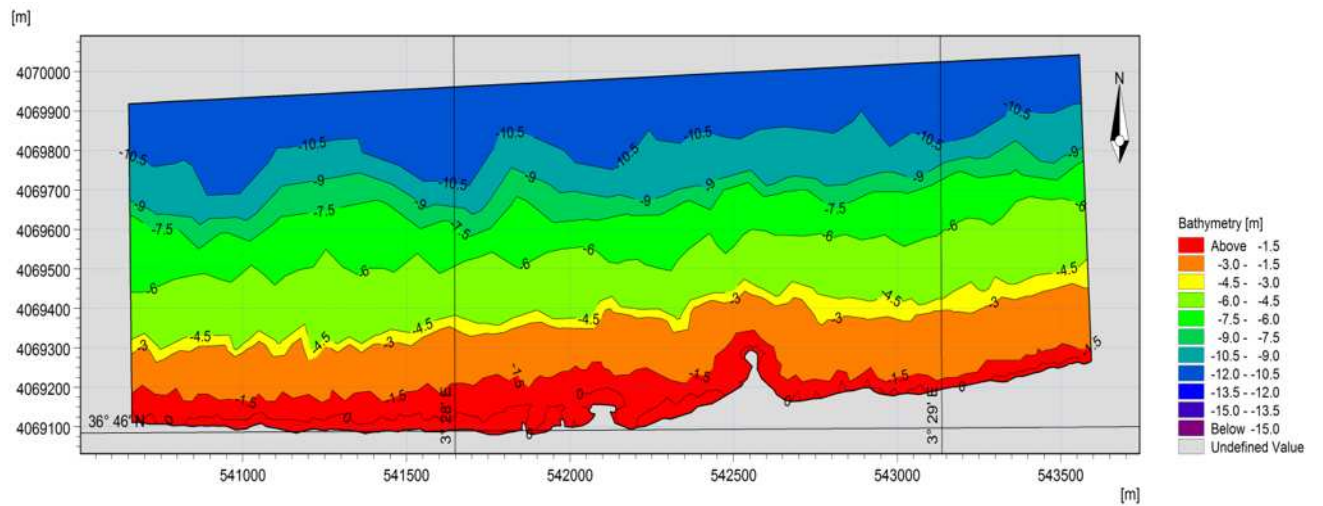


Fig N° III.5 : carte bathymétrique de Boumerdes

#### III.2.4. Caractéristique de la houle au large :

Les caractéristiques de houles au large ont été extraites à partir d'une base de données reliée à un modèle tridimensionnel de prévision marine Wave-Watch III, dans laquelle les données de houle ( $H_s$  –  $T_p$  – Directions) sont données chaque trois heures. La période extraite a englobé toute la durée d'expérimentation du 01 au 30 juin 2018, pendant laquelle les directions de houle dominantes étaient de secteur Nord, Nord-Est et Nord-Ouest à des hauteurs significatives dominantes oscillant entre 2.5 et 4.2m.

**Wave Watch III** : est un modèle d'onde de troisième génération développé à NOAA / NCEP dans l'esprit du modèle WAM. Il résout la phase spectrale équation d'équilibre de densité d'action aléatoire pour les spectres wavenumber-direction. L'hypothèse implicite de cette équation est que les propriétés de milieu (profondeur de l'eau et du courant), ainsi que le champ d'ondes se varient sur des échelles de temps et d'espace qui sont beaucoup plus grandes que les échelles de variation d'une seule vague. Avec la version 3.14 des options à long terme de source pour (zone de surf) d'eau extrêmement peu profonde ont été inclus, ainsi que le mouillage et le séchage des points de la grille. Alors que la physique surf-zone mises en œuvre jusqu'à présent est encore assez rudimentaires, cela implique que le modèle d'onde peut maintenant être appliqué à l'eau peu profonde arbitraire (NOAA, 2016).

**Caractéristiques du modèle :**

○ **Caractéristiques physiques**

- Les équations de WaveWatch III comprennent la réfraction et de forcer le champ d'ondes en raison de variations temporelles et spatiales de la profondeur moyenne de l'eau et du courant moyen (marées, surtensions, etc.), le cas échéant.
- Paramétrages des processus physiques (termes sources) comprennent la croissance des vagues et la pourriture due à l'action du vent, les interactions de résonance non linéaire, la dissipation ('white capping'), le frottement de fond, (la rupture induite par la profondeur) surf-rupture et la diffusion due aux interactions de la vague.
- La propagation des ondes est considérée comme linéaire. Effets non linéaires pertinents tels que les interactions de résonance sont donc incluses dans les termes sources (physique).

○ **Caractéristiques numériques:**

- Le modèle utilise une grille de longitude, latitude régulièrement espacées (longitude et latitude incrément ne doivent pas nécessairement être égales) et, éventuellement, une grille cartésienne.
- Le modèle est mis en place pour la nidification d'une manière traditionnelle, où les réseaux de modèle sont gérés comme des modèles séparés consécutivement, en commençant par les modèles avec la résolution spatiale la plus faible.

○ **Options de sortie:**

- Les paramètres moyennes d'ondes telles que la hauteur significative des vagues, des directions, des fréquences etc.
- Sortie de spectres d'ondes à des emplacements choisis.
- Sortie de spectres d'ondes le long des voies arbitraires (NOAA, 2016).

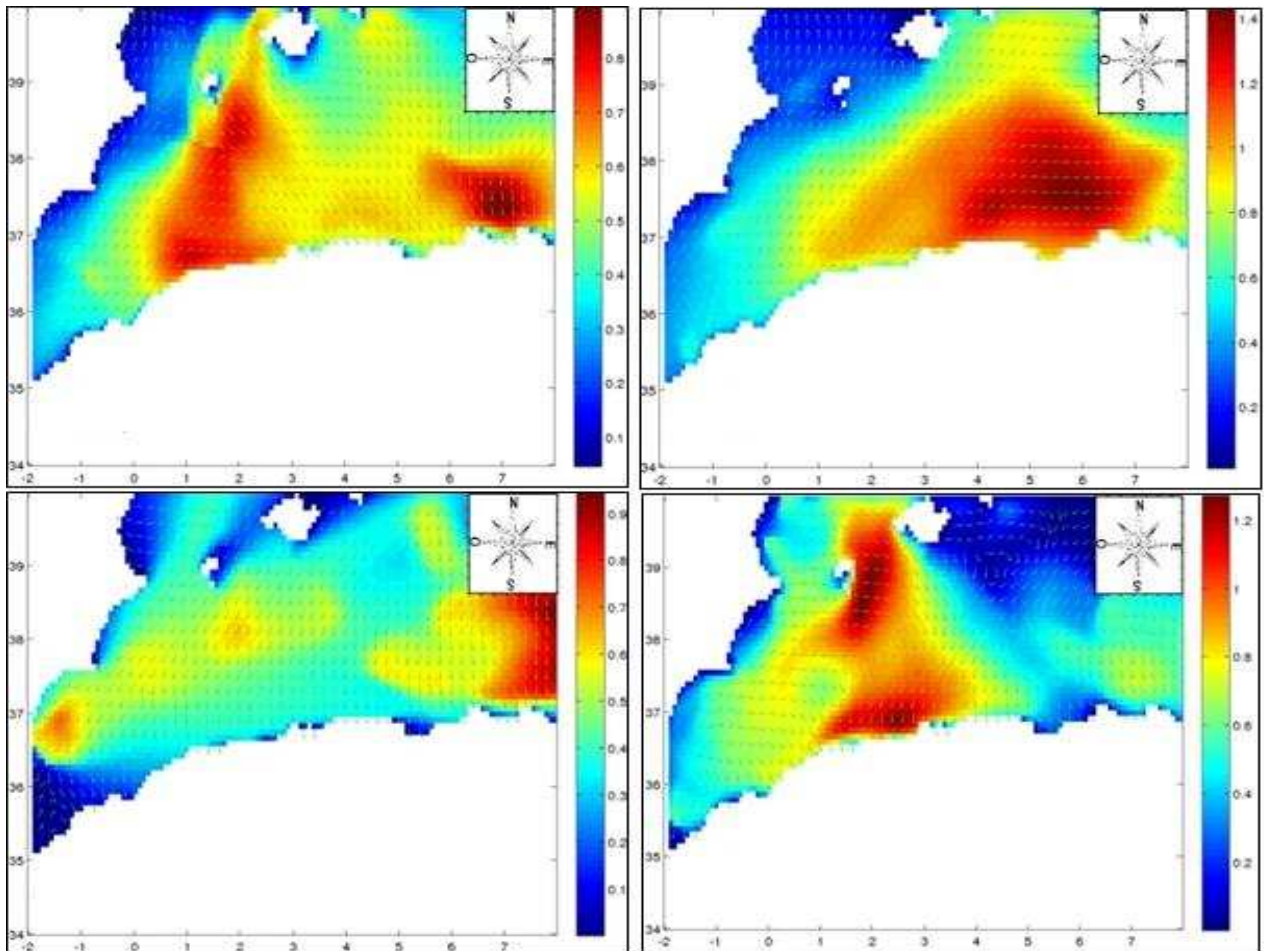
○ **Données d'entrées :**

- Dans cette étude on a utilisé les résultats de la simulation de la houle au large à une échelle régionale par le modèle WW3, concernant le mois d'Avril 2016 forcé par un modèle atmosphérique du vent arome basé sur la composante horizontale et verticale qui tourne en opérationnelle à l'ONM, pour donner les paramètres spectrale de la houle au bord du domaine de calcul au modèle Mike et passer vers une sous grille à une échelle locale.
- Les sorties du modèle WW3 représentent les paramètres moyennes de la houle comme Hs, Tp et la direction à un point considérée sur cette grille qui vont être utilisés par la suite comme des données input pour le modèle Mike.

**III.2.4.1. Résultats des modèles de vagues**

**Le modèle Wavewatch III :**

Les résultats obtenus de cette simulation sont représentés sur les cartes suivantes (**Fig III.6**)



**Fig N° III.6:** Champs de houles pour différentes périodes du mois de juin pour toute la côte algérienne

Les conditions initiales imposées dans le module SW dans les limites des zones d'études sont les paramètres de la houle, dans ce travail on a pris trois paramètres (Hauteur significative, période de la houle, et direction) comme suite :

$$H_s = 5.11\text{m}, T_p = 10.46\text{s}; \text{Dir} = 45.5^\circ\text{N} \dots\dots\dots (1)$$

$$H_s = 3.25\text{m}; T_p = 8.85\text{s}; \text{Dir} = 360^\circ\text{N} \dots\dots\dots (2)$$

$$H_s = 3.31\text{m}; T_p = 9.11\text{s}; \text{Dir} = 315^\circ\text{N} \dots\dots\dots (3)$$

Pour ce travail on a pris les plus grandes houles enregistrées au large, les statistiques ont montrées que :

La moyenne des plus grandes houles enregistrées en douze (12) ans avec une hauteur de 5.11 m de direction Nord-Est (1) et sa représente 4.07 % des houles.

La moyenne des houles les plus fréquentes enregistrées avec une hauteur de 3.25 m de direction Nord (2) et qui représente 36.40 % des houles.

La moyenne des deuxièmes plus fréquentes houles enregistrées et qui représente une hauteur de 3.31 m et de direction Ouest (3) et qui représente 17.38 % des houles.

### **III.2.4.2. Résultats simulation hydro sédimentaire :**

#### **Configuration du module SW :**

Afin de simuler la propagation de la houle du large vers la cote, l'équation choisie est la formule directionnelle dans le domaine spectral et la formule quasi-stationnaire dans le domaine temporel. L'algorithme d'itération Newton-Raphson avec les valeurs par défaut a été utilisé.

#### **Données d'entrée et calibration :**

Plusieurs types de données sont nécessaires pour cette étude. Celles-ci seront insérées en entrée du modèle de MIKE 21 Spectral Waves FM . Les différentes données utilisées sont mentionnées ci-dessous :

- Bathymétrie ;
- Des Directions des houles dominantes ; ici on la direction **Nord, Nord Est** et **Nord Ouest**.
- Des données sur le vent on a choisi des valeurs constantes ; une vitesse de 6m/s et une direction a 45°.

La procédure de calibration est ensuite exposée. On a choisi le déferlement et le frottement du fond comme paramètres de calibration. Le déferlement est spécifié en utilisant un gamma constant  $\gamma = 0.8$ . Le frottement du fond marin est spécifié en utilisant la rugosité de Nikuradse (kN en mètre) égale à 0.04, les deux paramètres sont déterminés par défaut.

Pour calibrer le modèle hydrodynamique, deux facteurs ont été pris en compte. Ils sont la viscosité et la rugosité du fond. La constante de Smagorinsky varie de 0,24 à 0,9 (DHI, 2014). Le nombre de Manning est de 24 à 35 (mètre un tiers par 212 seconde). L'estimation qu'on l'a choisi pour les deux paramètres, était par défaut 0.8 et 32 respectivement.

Après avoir introduit la bathymétrie et la données d'entrées et définir les conditions limites, la simulation a été lancée. La durée d'un effort de simulation varie dans le temps, selon la complexité des objectifs, des processus impliqués et de leur saisonnalité.

Les données sortantes sélectionnées qui représentent le climat de houle à la côte sont les suivantes (tableau **III.1**) :

Tab N° III.1 : Sortants du modèle SW.

Name	Symbole	unité
Hauteur Significative	$H_{m0}$	mètre
Période pique	$T_p$	seconde
Direction moyenne	MWD	degrés
Ecart-type	DSD	degrés
Contraintes de radiation	$S_{xx}, S_{xy}, S_{yx}$	$m^3/s^2$

### Résultats

Pour chaque simulation, il est alors possible d'extraire en tout point du maillage les caractéristiques de la houle (période, hauteur, direction). Les caractéristiques de la houle sont également disponibles sous forme de carte présentant la direction (vecteurs) et les contours des iso hauteurs ou des isopériodes.

- **Propagation des houles de direction Nord-Est (45°)**

L'étude de la réfraction montre que notre zone d'étude est exposée aux houles des secteurs Nord Est, Nord et Nord-Ouest. Cela est justifié par la configuration du trait de côte qui est parallèle au Nord-Ouest et qui reçoit l'énergie de ces trois directions dominantes.

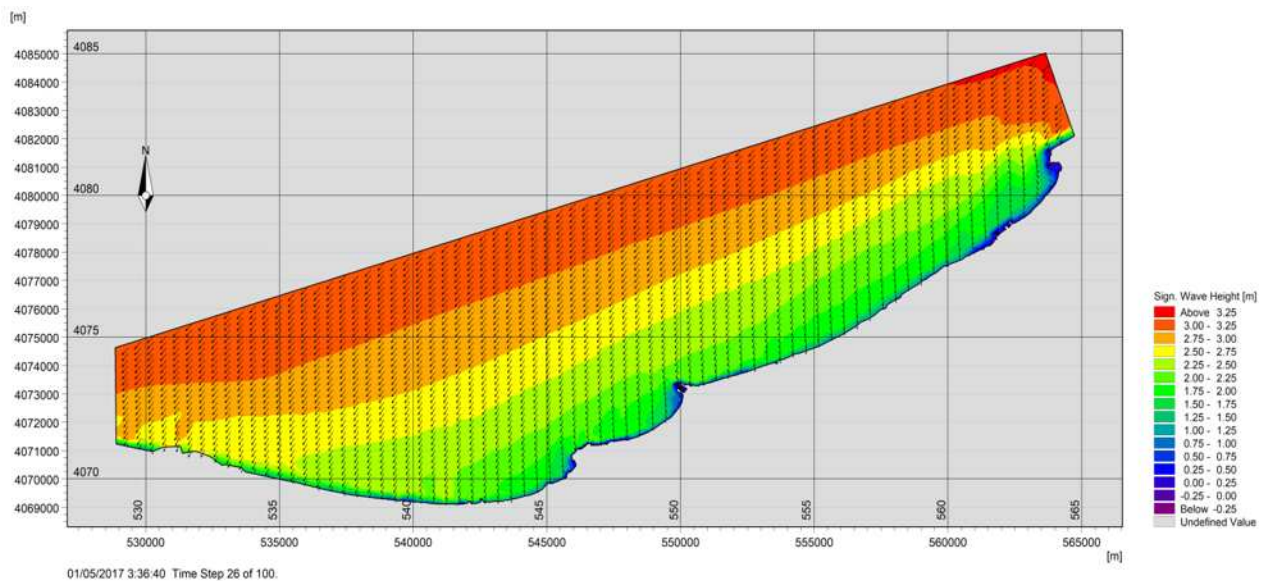
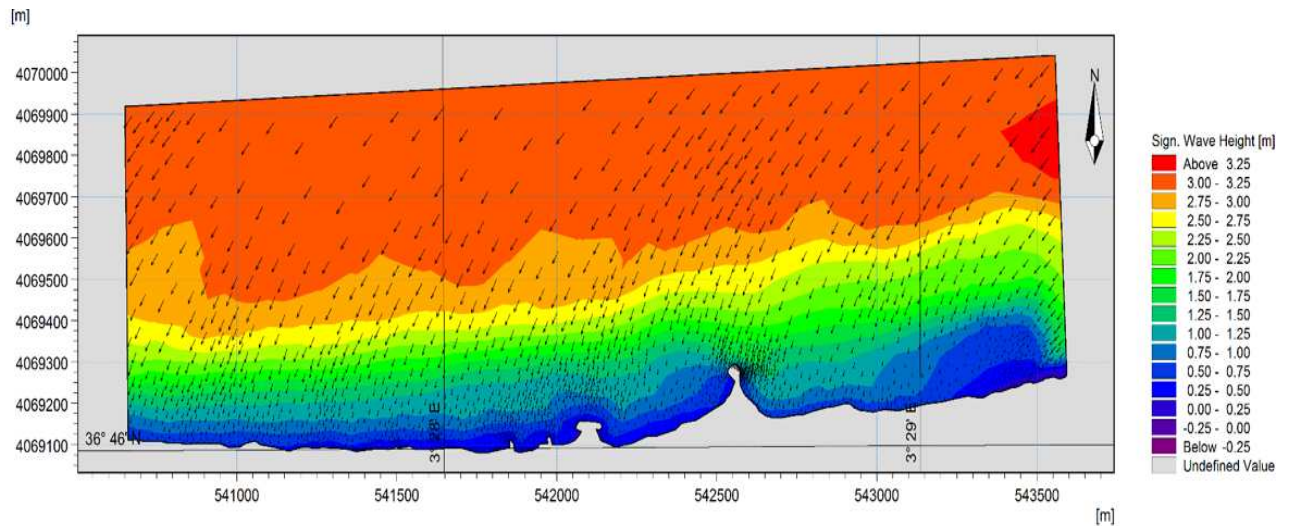


Fig N° III.7: Champs de houles (MWD=45°) sur la Baie de Zemmouri.



**Fig N° III.8:** Champs de houles (MWD=45°) sur la partie centrale (Plage de Boumerdes)

Les houles 45°N (Figure III.7 et III.8) sont très fréquentes, elles apparaissent surtout lors des tempêtes printanières, elles arrivent avec une obliquité de 25 à 40° par rapport au rivage, en engendrant des courants de dérive parallèles à la côte et des courants de retours dans le sens opposé. Les cartes montrent que les orthogonales sont peu réfractées. Au large, les houles de direction Nord –Est ne subissent aucune modification et gardent leurs caractéristiques initiales (Hs de 4m), mais au fur et à mesure, qu'elles propagent vers la côte et l'effet de fond commence à être ressenti, la hauteur de la houle diminue en rapprochant de la côte pour atteindre des valeurs inférieures variant en fonction de la morphologie des fonds.

Le plan de vague se diffracte dans la partie Ouest au niveau de l'îlot de Réghaia (HadjratBounatah). Dans la partie Est la propagation se fait latéralement par rapport au rivage, la houle semble ne pas conserver son énergie du large, la zone apparaît naturellement abritée par le Cap. Les orthogonales pivotent légèrement à l'approche du rivage vers les directions Nord et Nord-Est de la zone.

La houle atteint la côte avec des hauteurs variables selon la bathymétrie, des valeurs entre 1.25m et 2.5m enregistrées dans la partie Ouest (Ain taya, Reghaia et Boudouaou el Bahri) et dans la zone Est (plage de Zemmouri). Des valeurs faibles de l'ordre de 0.5m -1.5m dans les zones abritées (plage Boumerdes, port de Zemmouri...). À l'approche de la côte jusqu'à -1m de profondeur, une diminution moyenne des hauteurs varie de 0.7 et 0.25 m de hauteur au voisinage de certaines plages (plage du Cap Djinet), cela signifie que la houle perd une partie de son énergie presque trois quarts 3/4 lors de son évolution vers la côte. Cette dissipation d'énergie est accompagnée par un pivotement très faible des orthogonales de direction NNE et NEE.

On peut dire que la direction 45°N a une influence sur notre zone d'étude cela peut se voir au niveau des hauteurs de la houle incidente et aussi les coefficients de réfraction notamment dans la partie Est.

- **Propagation des houles de direction Nord au large (360°)**

Cette figure III.9 représente les résultats obtenus de l'étude de la réfraction de la houle de 360°N et cela pour une seule période (8.5s).

Au large, ces houles de direction Nord ( $360^\circ$ ) ne subissent aucune modification, mais au fur et à mesure, lorsque la houle commence à ressentir le fond, la hauteur de la houle diminue considérablement. Au voisinage des profondeurs de 30m, on observe que la hauteur de la houle ne varie, elle est de 3.5m environ, au delà de cette profondeur on observe une diminution de cette hauteur avec une valeur de 2.2m à -21m de profondeur, marquant qu'il n'y a aucun pivotement des orthogonales.

D'après la carte, au voisinage de la cote on remarque que les houles de secteur  $360^\circ$ N sont frontales, c'est dû d'une part au fait que ces houles se réfractent le moins avec des angles de déviation presque nul, toutefois, elles subissent des déformations au niveau des affleurements rocheux de Réghaia et Ain Taya, et d'autre part c'est lié à la configuration de la côte qui est pratiquement perpendiculaire à la direction des houles.

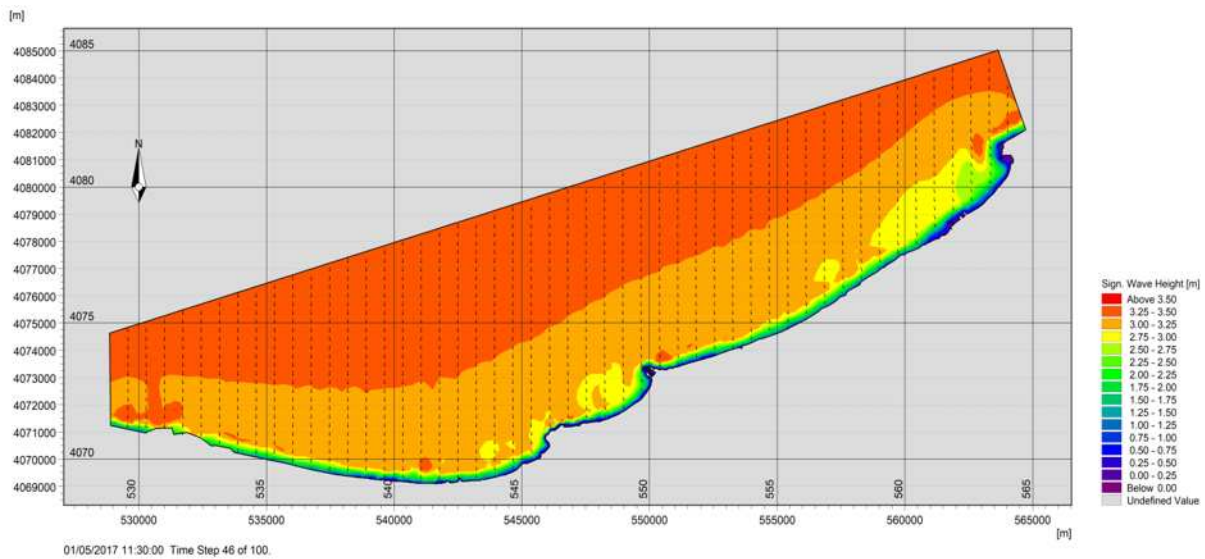


Fig N° III.9: Champs de houles (MWD= $360^\circ$ ) sur la Baie de Zemmouri.

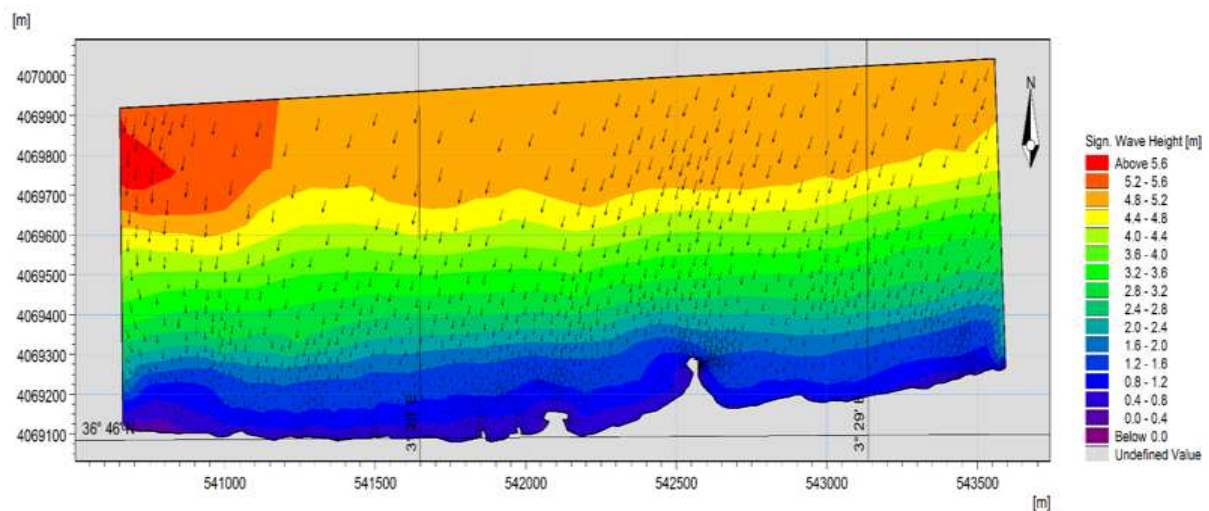


Fig N° III.10: Champs de houles (MWD= $360^\circ$ ) sur la partie centrale (Plage de Boumerdes)

A l'approche de la côte a des profondeurs inférieures à -1m, une diminution remarquable des hauteurs des vagues ( $H_s$  varie entre 0.69 m et 0.71 m), avec des coefficients de réfraction relativement faible entre 0.15 à 0.19 et des angles d'incidences de direction moyenne vers le Nord-Est au niveau de la partie Est, et cela signifie que la houle perd une grande partie de son

énergie presque 4/5 lors de son évolution vers la côte. Cette dissipation d'énergie est accompagnée par un pivotement des orthogonales vers le Nord Est avec un faible degré. Les valeurs de Hs varient entre 1,6 à 2,4 m au côté Ouest de la baie.

A l'exception de la zone de Cap Djinet, les hauteurs de la houle atteignent les 2.75m juste au pré de la jetée principale, cela est dû généralement au déferlement important des vagues ainsi que la diffraction de la houle sur les jetées du port.

Donc pour la direction 360°, on peut dire que la houle a une propagation quasi frontale et suit presque le même comportement d'évolution avec celle d'une direction 45°, et cela aussi pourrait avoir une influence sur notre zone d'étude.

▪ Propagation des houles de direction Nord-Ouest (315°)

Les houles issues de secteur 315°N (figure III.11), sont généralement des houles hivernales. Au large, ces houles de direction Nord-Ouest ne subissent aucune modification, mais au fur et à mesure, lorsque la houle commence à ressentir le fond, la hauteur de la houle diminue considérablement, elles sont réfractées au voisinage de la cote. Les orthogonales de la houle abordent la côte en subissant une rotation entre 3° et 10°. Ces houles engendrent une dérive littorale Ouest-Est le long de toute la côte sauf au niveau de Réghaia Plage qui est abritée par un îlot orienté dans le sens opposé des crêtes de houles. Par conséquent, le climat de houles reste modéré au niveau de cette plage. En effet dans cette localité les houles subissent une diffraction à 1 Km du rivage. Par contre, la propagation semble se faire de façon quasi-frontale. La houle ne perd que très peu de son énergie, les orthogonales ne pivotent que légèrement à l'approche du rivage, ces données font de cette houle la plus menaçante pour la zone d'étude.

Pour la houle de période (10s) (figure III.12), nous marquons que les hauteurs significatives sont au-dessus de 4 m au large, en revanche, près des côtes nous avons des hauteurs plus faibles où elles sont comprises entre 0,2-0,8 m à l'Est et entre 1.0-2,0 m à l'Ouest. Au niveau du Cap Matifou, les hauteurs remarquées sont les plus faibles du fait qu'elles sont entre 0.2-0.8m et cela signifie que la houle perd une très grande partie de son énergie lors de son trajet vers la côte due généralement à la variation abrupte de la bathymétrie.

Cette dissipation d'énergie est accompagnée par un pivotement léger des orthogonales vers le Nord-Est notamment au niveau du port de Cap Djinet.

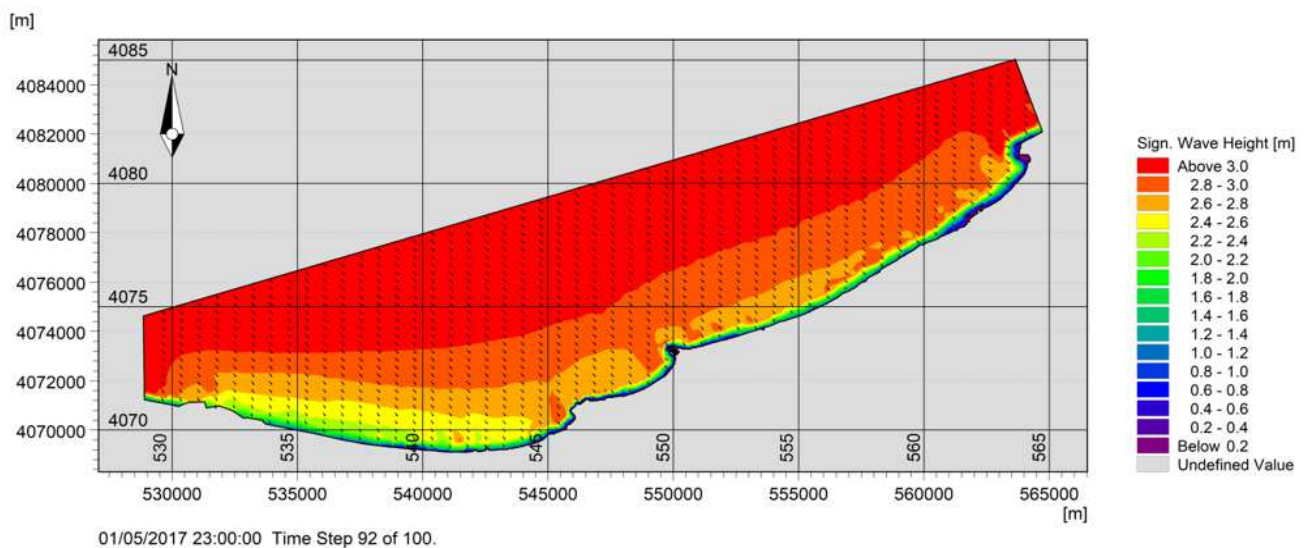


Fig N° III.11: Champs de houles (MWD=315°) sur la Baie de Zemmouri.

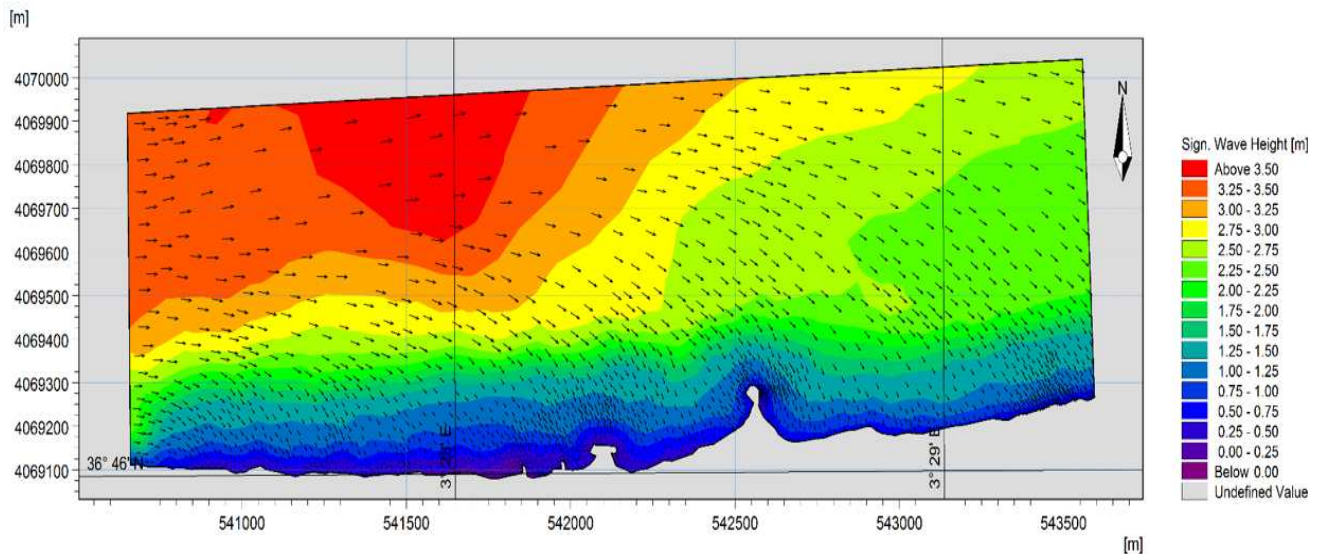


Fig N° III.12: Champs de houles (MWD=315°) sur la partie centrale (Plage de Boumerdes)

### III.2.4. 3. Modélisation des champs de courants générés par la houle

Lorsqu'elle s'approche du rivage, la houle déferle et perd ainsi la majeure partie de son énergie qui se dissipe lors du moutonnement des brisants ou par frottement des particules d'eau. Cependant, une fraction de l'énergie demeure mécanique et transmet au fluide un courant de masse. L'énergie de ce courant de houle se dissipe quant à elle par frottement latéral et sur le fond. Un régime permanent est atteint lorsque la totalité de cette énergie a été dissipée. (Longuet-Higgins, et al. 1964) ont montré que les forces motrices du courant de houle étaient dues aux variations du flux des quantités de mouvement induites par la houle. Schématiquement, dans le cas d'une plage rectiligne, la composante de cette poussée parallèle à la côte engendre une dérive littorale tandis que sa composante normale induit une surélévation du niveau moyen. La définition des contraintes de radiation par (Longuet-Higgins, et al. 1964) marqué la naissance de la modélisation des courants littoraux et de leur répartition dans la zone de déferlement. (Bowen, 1969) montre que le long d'une plage de pente constante, une houle monochromatique ne crée une force motrice pour le courant qu'à l'intérieur de la zone de déferlement. C'est le mélange latéral qui permet l'extension de ce courant au large de la ligne de déferlement. Bowen montre par ailleurs que la largeur de la zone de déferlement et l'intensité du courant augmentent avec la hauteur de houle, et propose un profil de vitesse du courant littoral montrant une bonne correspondance avec les mesures.

L'objectif de cette partie est de modéliser les champs de courants générés par les houles approchant le rivage, au moyen du module HD. Les contraintes de radiation étant calculées par le module SW elles nous ont servi à modéliser la courantologie au niveau de la grande baie de Zemmouri.

**Conditions aux limites et autres paramètres :**

Le niveau de la mer est considéré constants (0.34 m). Les flux tout au long des limites ouvertes sont considérés perpendiculaires par rapport aux limites. Par conséquent la surface initiale est considérée nulle aussi. La viscosité et la résistance sont considérées comme valeurs par défaut (0.5 et  $32 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  respectivement). Les contraintes de radiations incluses dans chaque grille de calcul sont calculées par le module SW.

**III.2.4.3.1. Résultats des simulations HD et interprétations :**

Les figures ci-après (Figure **III.13** à **III.17**) montrent les champs de courants induits par les vagues calculées au moyen du modèle numérique MIKE21-HD pour les trois directions de houles sélectionnées.

Le long de la côte Est algéroise, les résultats du modèle montrent clairement que le flux d'énergie long-shore provient du secteur Ouest et s'oriente vers l'Est (Figure **III.17**)

Les vagues venant du secteur Nord-Est génèrent un courant de dérive littorale parallèle à la côte et orienté d'Est en Ouest. Des vitesses importantes varient entre 0.5m/s à 1m/s enregistrées dans la zone de Zemmouri. Les vitesses sont plus élevées dans la zone Est de l'embouchure de l'oued Réghaia qui dépassent 0.8m/s. Ces vitesses diminuent en allant vers l'ouest à cause de l'effet d'abri de l'île, HadjratBounattah, et du léger changement dans l'orientation de la côte. Ces fortes vitesses sont à l'origine du transport sédimentaire vers l'Ouest en favorisant l'érosion des cotes sableuses exposées à ses courants.

D'après cette figure, on observe que les champs des courants formés par la houle de secteur Est ( $45^\circ\text{N}$ ) dans la région de Boumerdes montrent des activités hydrodynamiques dans presque toute la zone. On remarque que le courant se propage d'est en ouest suivant une direction parallèle au trait de côte avec une vitesse majoritaire qui varie entre 0.60 m/s à 1.05 m/s, ce courant est produit principalement par le phénomène de réfraction de la houle.

Plus à l'Ouest, le long de la plage, Deca Plage, les vitesses du courant long-shore augmentent de nouveau puis elles diminuent progressivement en allant vers la localité d'Ain Chorb où note un changement de la direction de la côte et la présence de hauts fonds à l'avant côte. L'effet de ces hauts fonds engendre localement un courant dans la direction opposée.

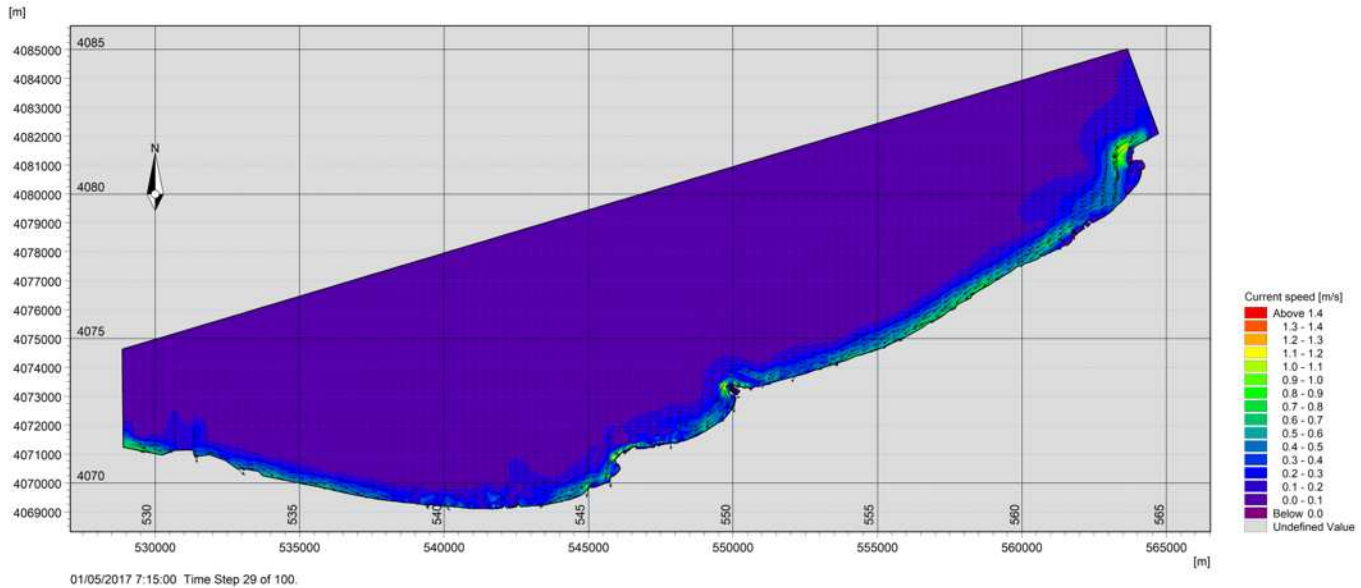
A l'Est du port de Cap Djinet, on remarque des champs de courants plus important qui dépasse la vitesse de 1.5m/s orienté vers la direction Ouest, c'est l'origine des accumulations de quantités importantes du sable au niveau de la jetée principale et favorise l'ensablement du port avec des vagues venant de l'autre côté, ici en cours à des vitesses plus élevées, ce qui aura un effet visible sur le transport des sédiments et de l'évolution côtière.

Les houles issues du secteur Nord-Ouest donnent naissance près de la côte à un courant de dérive dirigé vers l'Est. Loin au large, ce courant prend une direction nettement opposée mais avec des vitesses nettement faibles dans la partie Est ou les vitesses des courant de dérive ne dépassent pas 0.5m/s. en revanche dans la partie Ouest, au niveau de la plage de Zemmouri, on observe des champs de courant importants avec des vitesses qui dépassent 1m/s. ce courant joue un rôle important dans la redistribution des sédiments accumulés au voisinage du port pour alimenter la partie érodée.

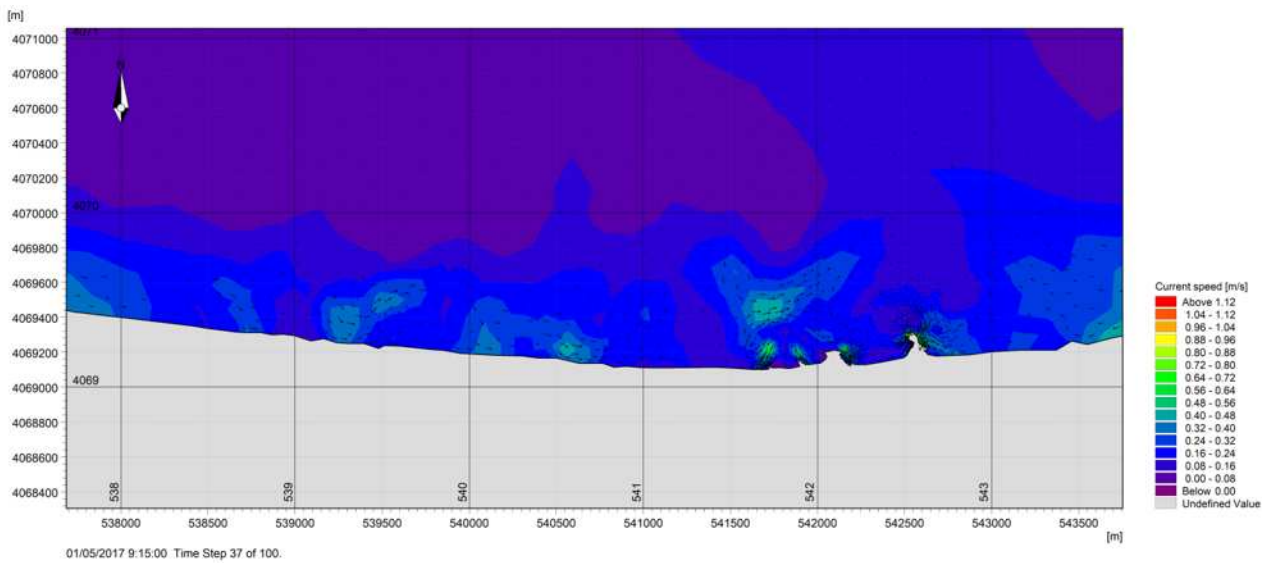
D'après cette figure, on observe que les houles de secteur Nord donnent naissance à des courants moins importants par rapport aux autres directions, qui sont dirigé vers le secteur Ouest avec une vitesse de 0.2 m/s. On remarque aussi une circulation turbionnaire derrière les ouvrages

de protection et les jetées, dû généralement à la diffraction de la houle au niveau des extrémités de ces ouvrages. Au niveau de la zone Est des vitesses relativement faibles d'environ 0.08m/s. on constate des courants avec une vitesse un peu élevée au niveau de la zone centre de Zemmouri 0.5m/s - 1m/s.

▪ **Champs des courant pour un MDW=45° :**



**Fig N° III.13:** Champs des courants sur la Baie de Zemmouri pour : MWD= 45°.



**Fig N° III.14:** Champs des courants sur la Baie de Zemmouri pour : MWD= 45°. (Boumerdes)

▪ Champs des courant pour un MDW= 360°

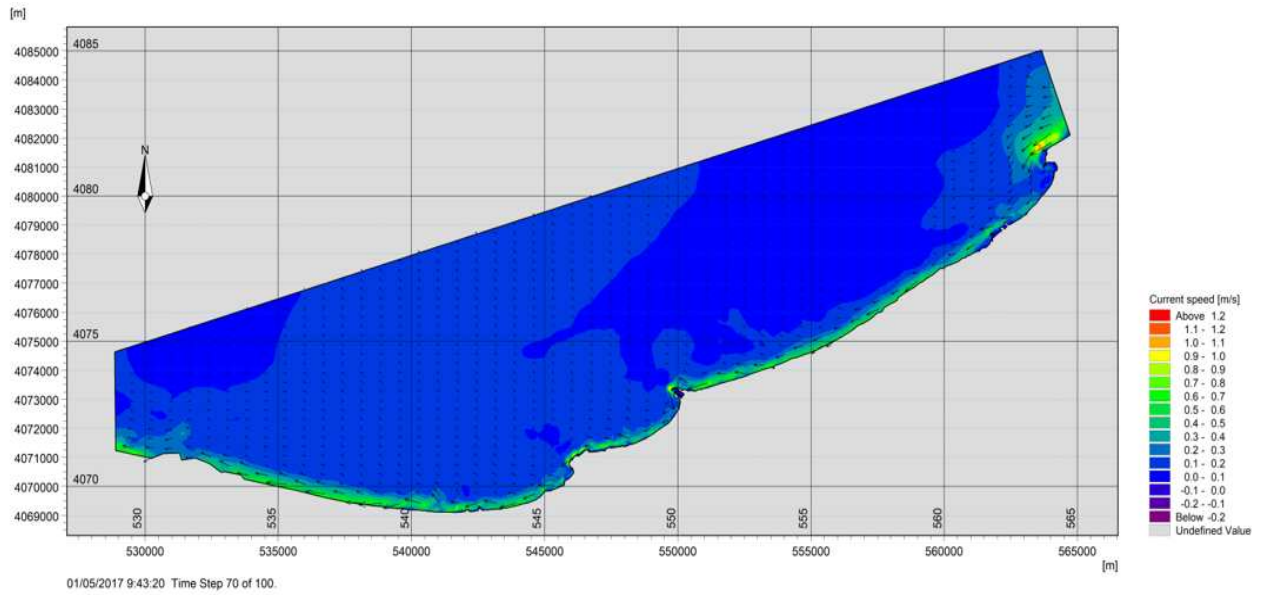


Fig N° III.15: Champs des courants sur la Baie de Zemmouri pour : MWD=360°.

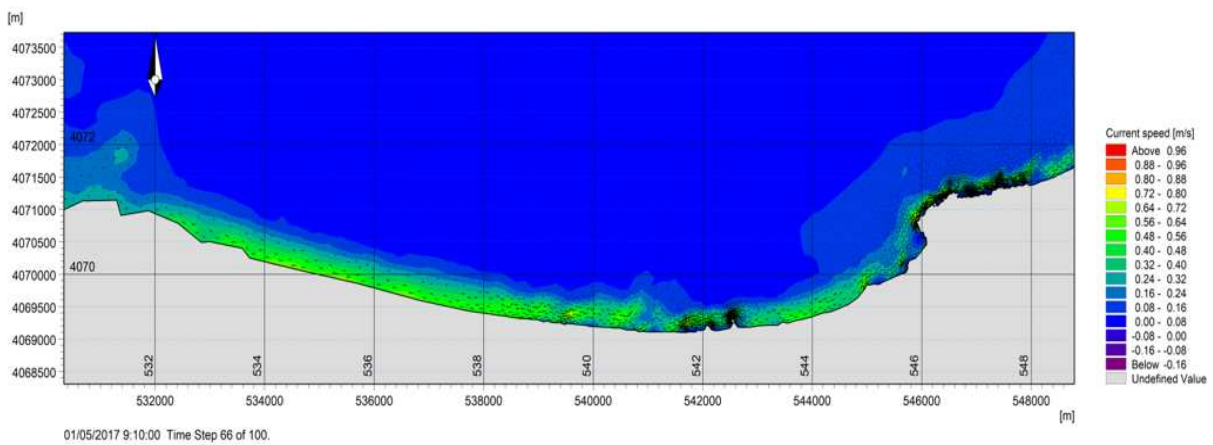


Fig N° III.15: Champs des courants sur la Baie de Zemmouri pour : MWD= 360°. (Boumerdes)

▪ Champs des courant pour un MDW= 315°

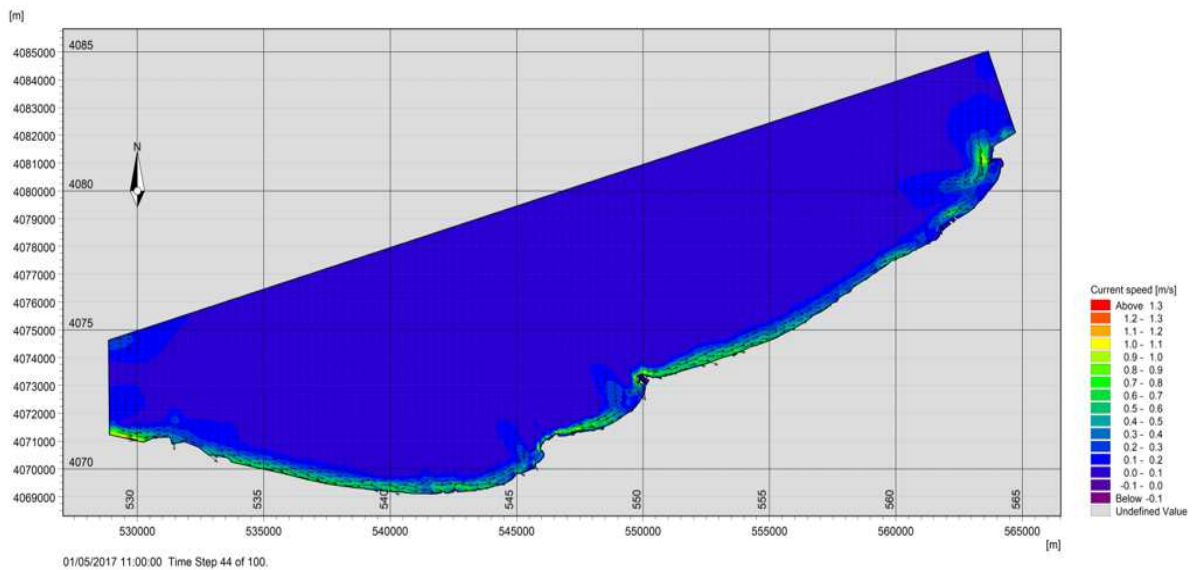


Fig N° III.16: Champs des courants sur la Baie de Zemmouri pour : MWD= 315°.

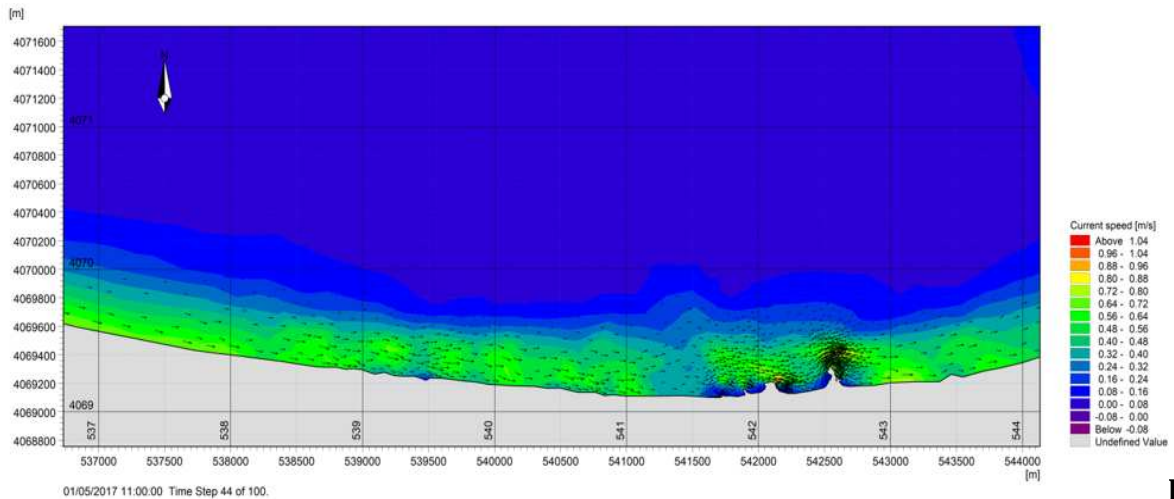


Fig N° III.17: Champs des courants sur la Baie de Zemmouri pour : MWD= 360°. (Boumerdes)

III.2.4.4. Modélisation du transport sédimentaire sous l'effet de houle et de courant

Le calcul et la prévision de l'évolution du littoral dépendent de l'équilibre du transport des sédiments dans le secteur d'étude.

L'étude de l'évolution de la cote sableuse passe donc par celle des causes sous-jacentes qui affectent l'équilibre des sédiments du littoral en fonction des différentes périodes. Plus précisément, le problème posé est de déterminer le régime de houle et hydro-morphologique, les effets des vagues, des courants sur cette évolution et les causes de l'érosion dans le secteur d'étude. De là, nous comprendrons les règles de l'accrétion et de l'érosion dans la zone d'étude grâce à l'application de modèles mathématiques pour simuler ce processus.

Les données disponibles ont été étudiées et analysées pour l'étude et la compréhension des processus côtiers. Bien que les données sur la bathymétrie, les niveaux de la mer et des sédiments fussent peu disponibles, les données essentielles sur le site de l'érosion, en particulier sur le régime des vagues, n'étaient pas suffisantes. De plus, le travail sur le terrain ne peut pas couvrir toutes les conditions météorologiques possibles qui se produisent. Par conséquent, une simulation a été développée pour combler cet écart et déterminer l'évolution du littoral.

L'ensemble des données disponibles complétées par des mesures spécifiques sur le terrain ont été utilisées pour la configuration, le calibrage et vérifier les modèles numériques.

Le modèle numérique nous permet d'illustrer les houles, le courant dû aux vagues et les modes de transport du littoral, ainsi que l'influence des ouvrages de protection et portuaires au cours de la simulation.

Le modèle morphodynamique repose sur un couplage des modèles de propagation de la houle et du modèle de circulation et du modèle de transport sédimentaire dans MIKE21.

Le long du littoral, des ouvrages artificiels ont été construits pour stabiliser les plages et les zones subissant une forte érosion. L'implantation d'ouvrages littoraux entraîne des modifications de la dynamique côtière dont l'impact dépend de beaucoup de paramètres intrinsèques à l'ouvrage, comme son type (longitudinal ou transversal), sa forme, sa taille, sa composition... Des ouvrages longitudinaux sont généralement observés en haut de plage (digues, perrés), pour protéger les zones littorales des forçages météo-marins, mais peuvent aussi se trouver en bas de plage sous forme de brise-lames. Les ouvrages transversaux (épis, jetées) stoppent le transit sédimentaire et limitent les accumulations de sédiments (voir entraînent une érosion) en aval dérive. Les ouvrages transversaux induisent une perturbation hydrodynamique, avec une accentuation des courants de retour au niveau de l'ouvrage (**Short, 1991 ; Sabatier, 2001**), une accentuation des vitesses de transit au-delà du musoir de l'ouvrage (**Short, 1991**) et des impacts en aval (**Suanez, 1997 ; Sabatier, 2001 ; Bertier, 2009**).

### **Dynamique hydro sédimentaire :**

Les systèmes côtiers ont été analysés selon leurs caractéristiques hydrosédimentaires. D'abord, les dérives littorales principale et secondaire et les courants de retours ont été déterminés par l'analyse des zones d'accumulation et des reculs récents et historiques et selon les obstacles au transit sédimentaire. Ensuite, unités et les cellules hydrosédimentaires ont pu être identifiées.

La dérive littorale est due à une houle oblique. Les courants de dérive littorale sont responsables de la dérive littorale de sédiment. Ils déplacent les sédiments dans la zone de déferlement (**Beach et Sternberg, 1992;Calliari, 1994; Courtaud, 2000**). Ils créent des chenaux d'érosion longitudinaux, parallèles au rivage et aux isobathes. Selon Blanc (1973), ces chenaux peuvent déplacer les sédiments enlevés du fond jusqu'à des distances supérieures 2,5 kilomètres. La dérive littorale peut, selon les cas, apporter ou exporter des sédiments et influencer sur le bilan sédimentaire. La dynamique côtière de ce secteur est donc essentiellement contrôlée par (1) la propagation de la houle la côte, (2) la dérive littorale, parallèle au trait de côte les courants de retours. L'action éolienne a un effet sur un trait de côte sableux.

Les forçages hydrodynamiques ont permis de structurer les formations superficielles du littoral centre algérois.

Le transit littoral des sédiments dépend, pour une grande part, des directions et de l'obliquité des houles par rapport au rivage

#### **III.2.4.4.1. Description et configuration du modèle Mike 21 ST :**

La modélisation intégrée du transport de sédiments doit tenir compte à la fois des courants de vent et des courants associées aux vagues. Dans ce cas, l'approche est complexe et doit faire appel à un système de modélisation intégrée comprenant trois modèles numériques : un modèle

hydrodynamique, un modèle de vagues et un modèle de transport de sédiments non-cohésifs (sables) sous l'effet combiné des vagues et des courants.

Le critère de choix pour la houle représentative concerne donc sa capacité à induire une dérive littorale conforme à la dérive mesurée ou estimée. Ce chapitre consiste à modéliser le transport sédimentaire induit par les courants et les houles simulés durant les trois périodes citées précédemment au moyen du module ST de la compilation MIKE 21.

Sous l'action combinée des courants et des vagues, le modèle Mike 21 ST calcule les taux de transport de sédiments non cohésifs. Les courants qui transportent les sédiments sont causés par les vents, les vagues ou une combinaison des deux. L'effet des vagues déferlantes et non déferlantes est inclus dans le calcul des taux de transport.

Les taux de transport de sédiments sont calculés à partir de données bathymétriques, des profondeurs instantanées de l'eau, les tailles et la gradation spatiale des sédiments et les variations spatio-temporelles des courants et des vagues dans la région étudiée.

L'érosion et la déposition des sédiments peuvent ensuite être calculées par l'utilisateur à partir des gradients spatiaux des taux de transport de sédiments fournis par le modèle ST. Dans la zone de déferlement, les courants de retour sont inclus.

Pour calculer le débit sédimentaire dans chaque point, Deux méthodes de simulation sont disponibles dans les conditions combinées de la houle et du courant (DHI, 2014g) : la méthode Bijkeret la méthode STP du DHI.

La méthode STP traite les différences de phase de l'écoulement oscillatoire, la tension du cisaillement sur le fond et la concentration sédimentaire en suspension dans sa formulation pour le calcul du transport sédimentaire. Deux méthodes de simulation sont disponibles pour le calcul des taux de transport : modèle 2DH et modèle STPQ3D.

Le modèle 2DH est une approche de plan bidimensionnel horizontal (2DH). Les taux de transport sont calculés dans le sens du courant moyen, avec une composante transversale résultante de la pente des fonds.

Le modèle STPQ3D est une quasi-tridimensionnelle (Q3D) de l'hydrodynamique et du transport de sédiment. Il calcule l'hydrodynamique instantanée et moyenne dans le temps et le transport des sédiments dans deux directions horizontales : perpendiculaire et parallèle au rivage. Comme le modèle calcule le transport par charriage et par suspension séparément, les valeurs de la table de transport des sédiments sont le transport total.

Avant la simulation des valeurs de transport des sédiments non cohésifs, une « table de sédiment » doit être générée à l'aide d'utilitaires de génération de table de sédiment offerts avec le module MIKE 21-ST. Les valeurs de transport interpolées au préalable sont utilisées au cours de la simulation numérique et évitent l'effort de calcul additionnel si les mêmes transports doivent être calculés chaque fois que les mêmes paramètres de grains de sable, de vagues et de courants se présentent aux différents pas temporels de calcul. Un sable de diamètre médian 0.2 mm, de gradation 1.4 et de porosité 0.4 est considéré sur l'ensemble du modèle. Les sortants du module SW (Hm0 – Tp – Dir) et HD (Vitesses et directions des courants) simulés pour les trois périodes précédentes sont utilisés dans le module ST.

#### **III.2.4.4.2. Résultats du modèle Mike 21 ST:**

Les transports des sédiments calculés dans la zone d'étude adoptent des unités de  $m^3/s/m$  sous l'effet des vagues, des courants de dérive, de retours et des vents d'Est. L'interprétation de ces transports est basée sur le changement de l'intensité du transport d'une maille à l'autre. Par exemple, une diminution des vecteurs de transport d'une maille à l'autre indique une zone de

convergence ou de dépôt potentiel des sédiments à cet endroit alors qu'une augmentation des vecteurs adjacents indique une divergence ou un potentiel d'érosion à cet endroit.

De façon générale dans la baie de Zemmouri, une tendance de dérive littorale de l'Est vers l'Ouest semble persister pour les houles de 45°N et Ouest vers Est pour les houles de 315°N, cependant les houles en provenance de 360°N engendrent des transports sédimentaires qui convergent vers les deux directions selon la morphologie de zone au voisinage de la cote.

Les courants modélisés dans la plage Nord semble favoriser un transport sédimentaire vers l'épi Nord pour les trois climats de houle (45, 360 et 315°N). En effet les houles en provenance du Nord-Est engendrent un courant littoral Nord-Sud qui entraîne les sables vers le sud qui favorise l'accumulation des sables et la formation d'une plage large et cela confirme l'avancée de la ligne de cote calculée par le modèle DSAS (évolution de trait cote). Lorsque les houles sont de fortes amplitudes (>1.3m) ce courant contourne l'épi Nord et par conséquent forme un vortex en aval de l'ouvrage et revient vers celui-ci en entraînant les sables vers le Nord.

Par contre, les houles en provenance de l'ouest génèrent un courant Sud-Nord qui entraîne les sables vers le nord, ce courant contourne l'épi Nord et forme derrière celui-ci un vortex qui revient vers l'ouvrage, en entraînant les sables vers le Sud malgré un régime de houle Ouest.

On constate également que le transport le dans cette portion épis et jetée du port est faible avec un taux de  $+16. 10^{-6}$  et  $+20. 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s} / \text{m}$  soit  $+498$  et  $+622 \text{ m}^3/\text{an} / \text{m}$ .

Sur la plage de Cap Djinet, à l'ombre du port, le transport s'effectue vers l'Ouest à cause d'une recirculation des courants engendrés par la houle du secteur Est, avec un taux  $+26. 10^{-6}$  et  $+36. 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s} / \text{m}$  soit  $+808$  et  $+1129 \text{ m}^3/\text{an} / \text{m}$ .

Les résultats du transport sédimentaire sur la zone allant de station électrique de Cap Djinet au Port de Zemmouri sont qualitativement conformes à l'analyse des écoulements menée précédemment et confirment la dérive littorale parallèle à la côte sur cette zone.

L'intensité de la dérive augmente entre l'Est et l'Ouest ce qui aurait tendance à favoriser un déplacement de sable de  $-1120$  et  $-1368 \text{ m}^3/\text{an} / \text{m}$ , mais que dans le même temps les houles de Ouest engendrent un transport en direction Est de  $345 \text{ m}^3/\text{an} / \text{m}$  moins important que celui engendré par la houle de direction Est et Nord, au voisinage du port de Zemmouri et des ouvrages de protection un transit sédimentaire dirigé vers le large d'un débit de  $1120 \text{ m}^3/\text{an} / \text{m}$ . Le bilan sédimentaire est donc complexe, et résulte de la contribution de chaque houle. Cette perte de sédiment vers le large favorise l'érosion de cette zone et un recul important du trait de côte qui confirme les résultats du modèle DSAS (un bilan surfacique négatif).

A l'extrémité Ouest de la baie, une divergence des écoulements a été mise en évidence : elle est causée par le déferlement des houles sur le platier rocheux. Cette divergence se retrouve dans le transport vers le Ouest et vers le Nord pour les deux directions de houle Est et Nord autour de la des pointes rocheuses, qui déclenche un transit sédimentaire vers la baie d'Alger et vers le large.

Dans la partie Nord Ain Taya, il est difficile à ce stade de déterminer si le transport résultant est orienté vers le Nord ou l'Ouest, étant donné sa variabilité : fonction de l'incidence des houles et la diffraction de cette dernière avec les ouvrages de protection, des sédiments sont piégés dans cette zone protégée qui favorise l'accumulation et formation d'une plage sableuse.

L'analyse qualitative des écoulements et du transport nous a permis de déterminer le cheminement de la dérive littorale le long de la zone entre Reghaïa et le rochet noir, elle s'effectue globalement du Est Vers l'Ouest pour la houle de l'Est avec un débit de  $1399 \text{ m}^3/\text{an} / \text{m}$ . les houles du secteur ouest et Nord, le transport est orienté vers l'Est, provoquant le dépôt de sédiments le long des brise-lames de la région de Boumerdes avec un taux de  $622$

$m^3/an /m$  et  $995 m^3/an /m$ . un courant de retours est dirigé vers le large qui aurait tendance à favoriser une perte de sable vers le large, et provoque un déficit sédimentaire de cette région.

Sur la zone comprise entre le rochet noir et le port de Zemmouri, le bilan sédimentaire est complexe, et résulte de la contribution de chaque houle. Les transits sédimentaires des trois directions sont piégés entre les deux extrémités et alimentent cette zone.

Cette modélisation confirme les résultats obtenus avec le modèle DSAS. Bilan surfacique positif pour la plage de Figuier, et un bilan négatif pour les plages de Reghaia à Boumerdes.

■ Direction 45°.

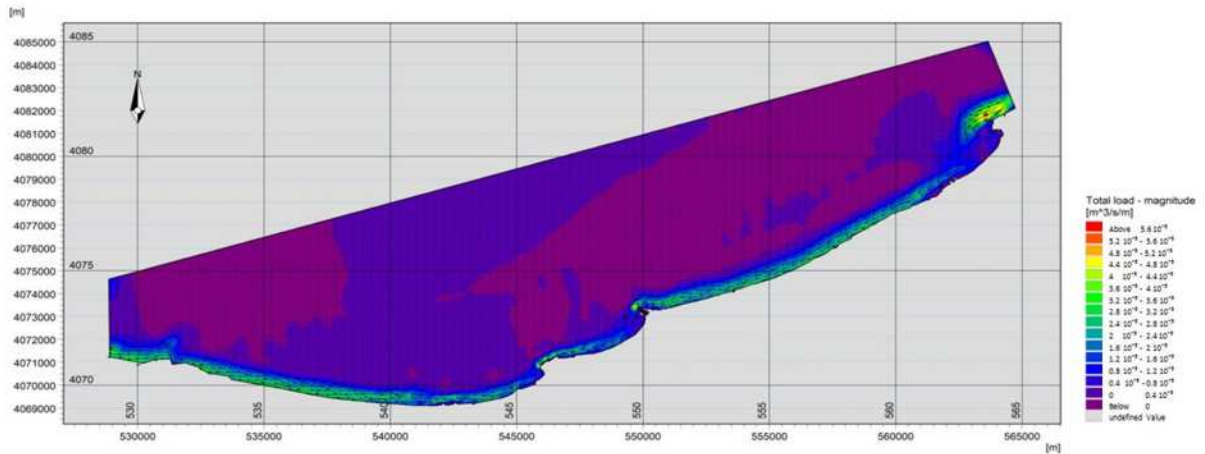


Fig N° III.18: Dynamique sédimentaire sur la Baie de Zemmouri pour : MWD= 45°.

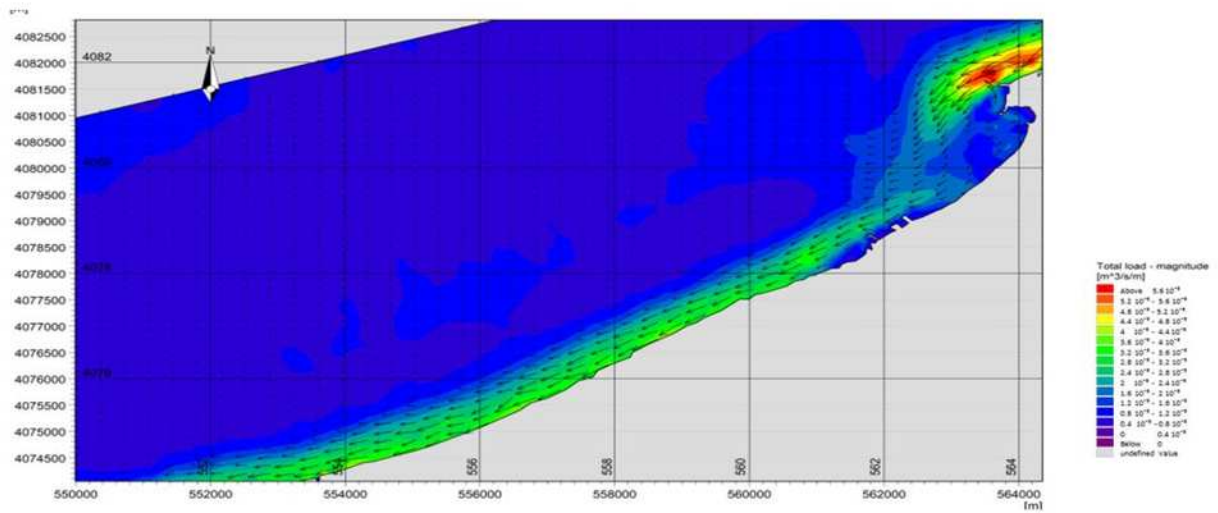


Fig N° III.19: Dynamique sédimentaire sur la partie Est de la Baie de Zemmouri: MWD= 45°.

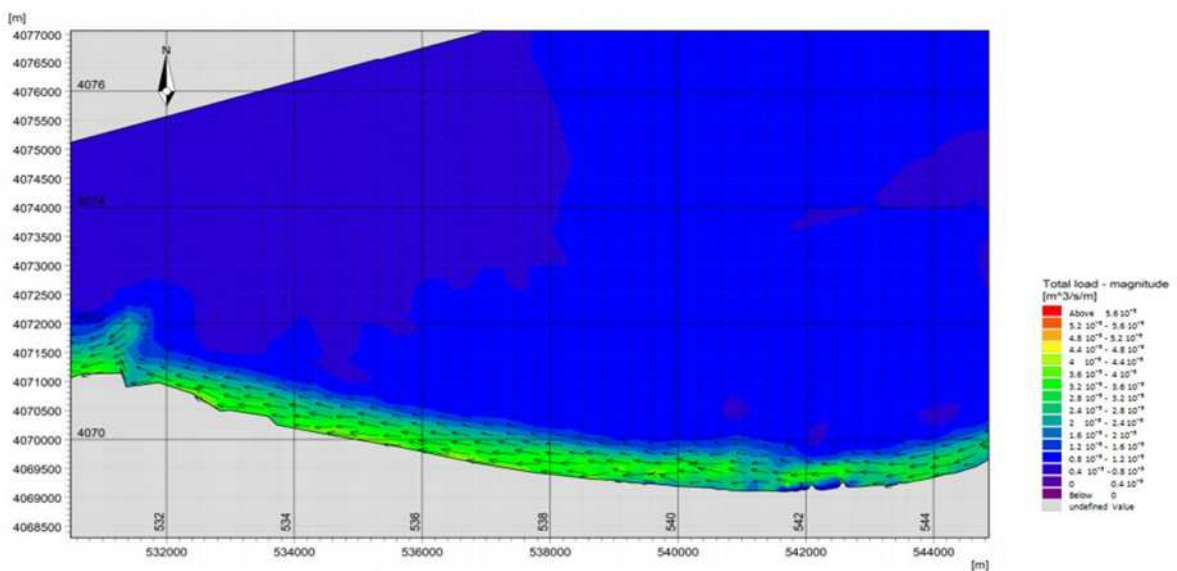


Fig N° III.20: Dynamique sédimentaire sur la partie Ouest de la Baie de Zemmouri : MWD= 45°.

▪ Direction 360

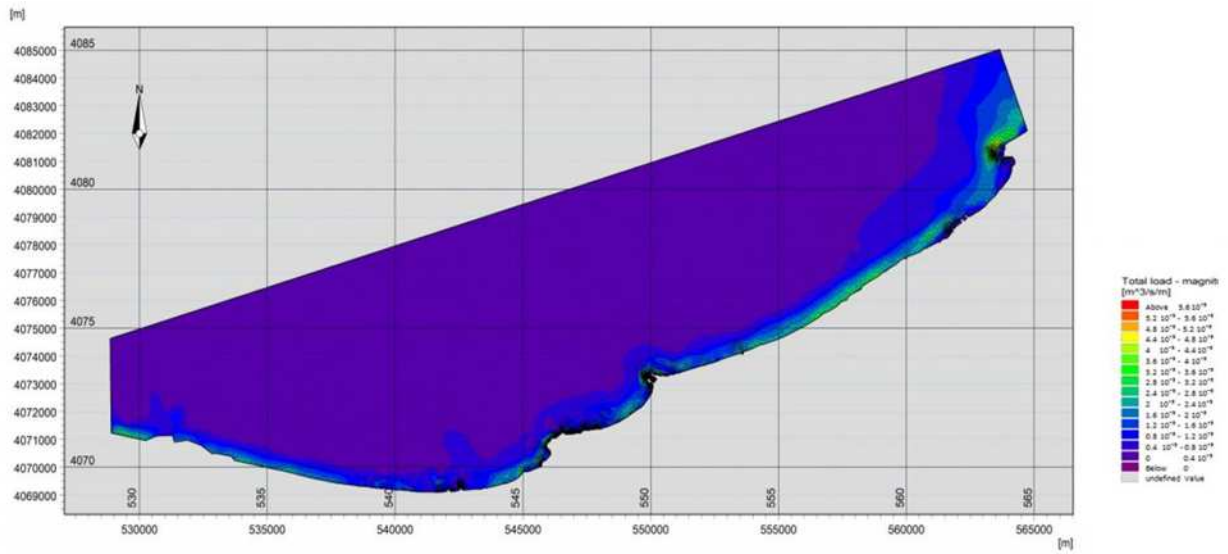


Fig N° III.21: Dynamique sédimentaire sur la Baie de Zemmouri pour : MWD= 360°.

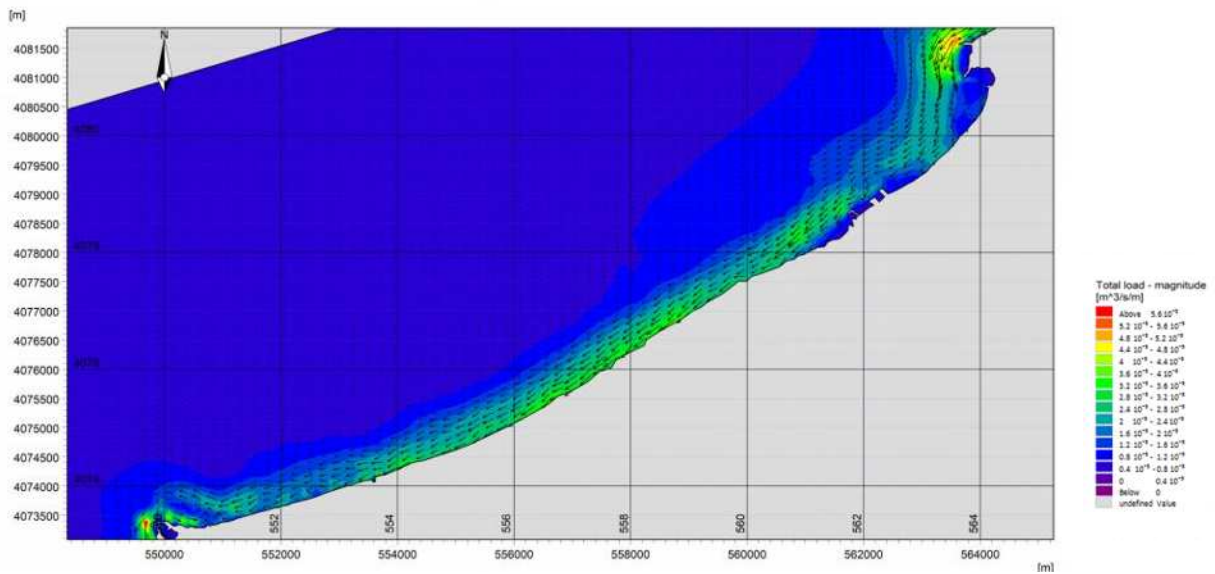


Fig N° III.22: Dynamique sédimentaire sur la partie Est de la Baie de Zemmouri: MWD= 360°.

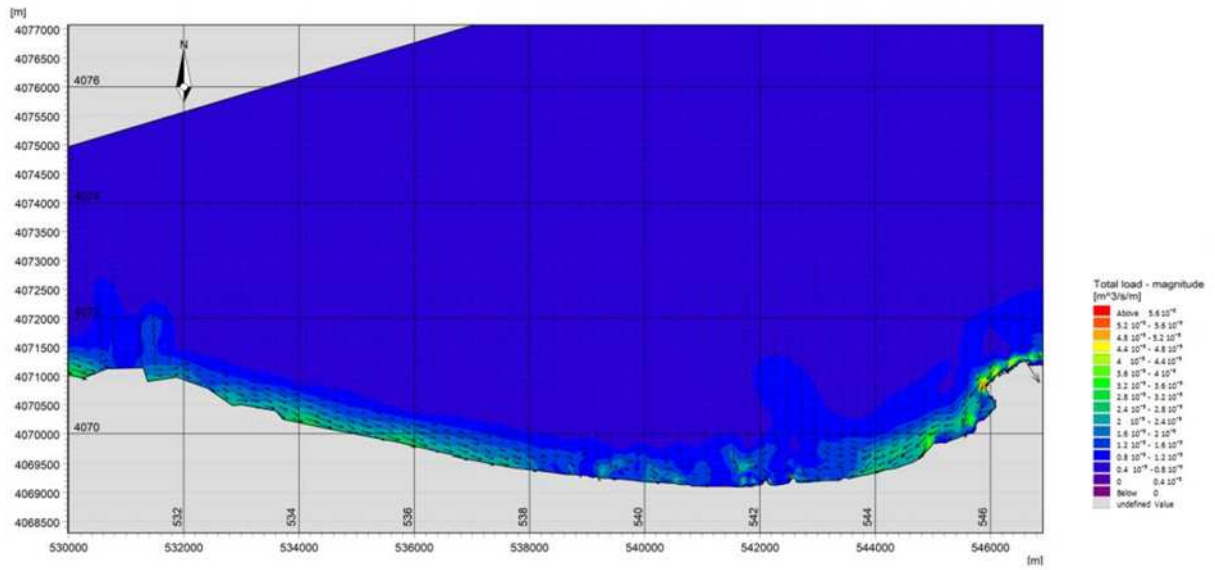


Fig N° III.23: Dynamique sédimentaire sur la partie Ouest de la Baie de Zemmouri: MWD= 360°.

Direction 315°

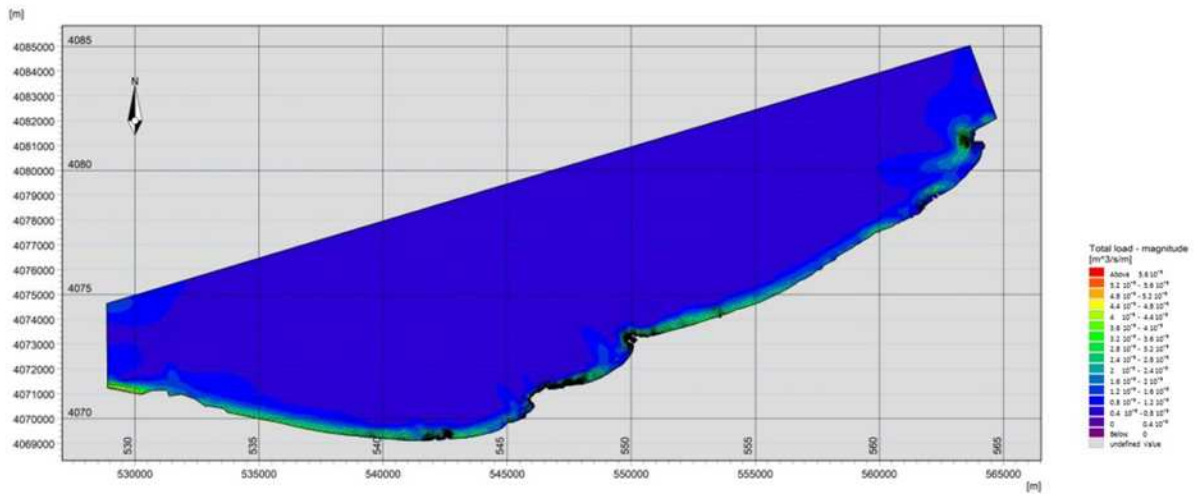


Fig N° III.24: Dynamique sédimentaire sur la Baie de Zemmouri: MWD= 315°.

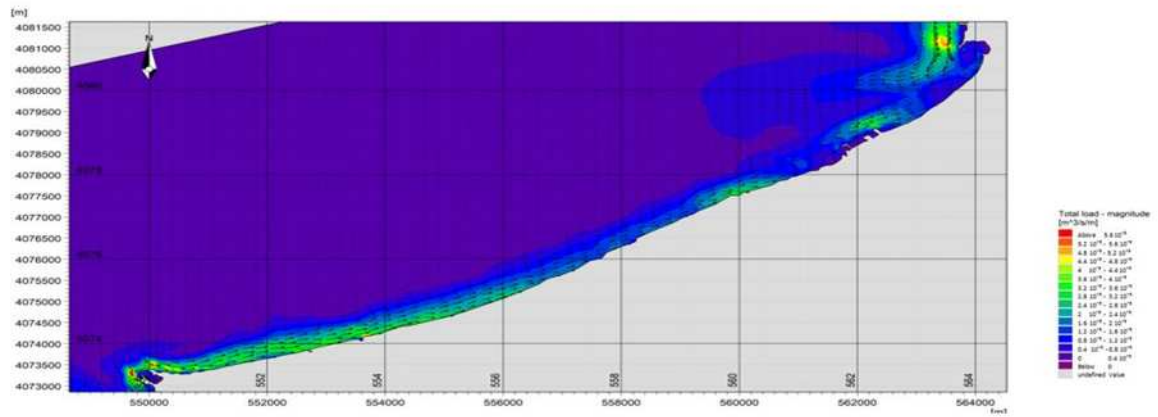


Fig N° III.25: Dynamique sédimentaire sur la partie Est de la Baie de Zemmouri: MWD= 315°.

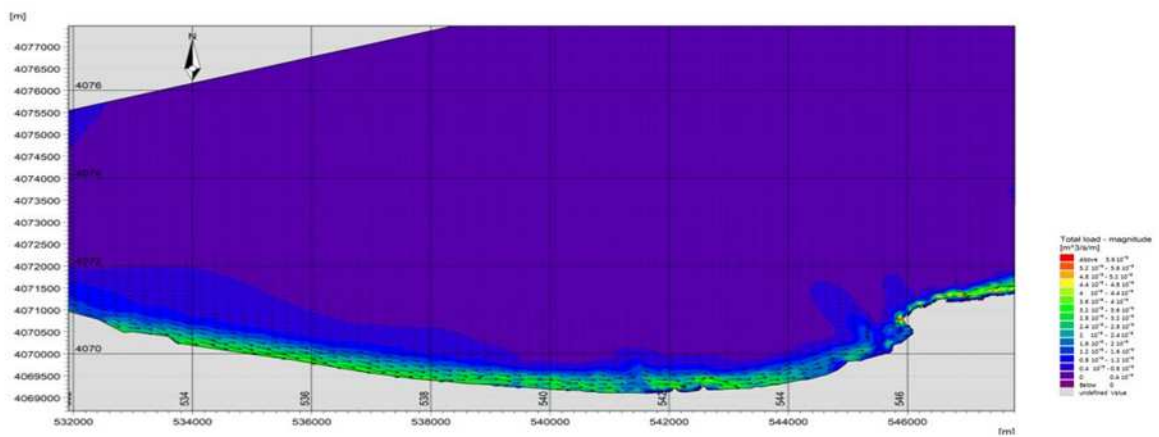


Fig N° III.26: Dynamique sédimentaire sur la partie Ouest de la Baie de Zemmouri: MWD= 315°.

# CHAPITRE IV

## **Evolution spatio- temporelle du trait de côte**

**Introduction :**

La zone côtière de Zemmouri est sujette à l'érosion marine. En effet, le trait de côte est déstabilisé par l'érosion côtière, et ne cesse de croître vu l'amplification de la pression socio-économique sur le littoral.

Vu le réel danger que présente l'érosion côtière pour la baie de Zemmouri, et devant le besoin de prévenir les risques côtiers dans un contexte de changement climatique, il est primordial de caractériser le phénomène d'érosion dans cette zone. C'est la raison essentielle de l'étude de la dynamique du trait de côte. Le suivi et l'analyse des indicateurs de l'évolution côtière sont des préalables à la gestion du littoral (**Mallet *et al*, 2012**).

L'étude des changements passés d'un littoral peut se faire par différentes méthodes d'analyse. L'interprétation de photographies aériennes, l'analyse de cartes (historiques, topographiques et hydrographiques), l'étude des images satellitaires, des relevés sur le terrain et des enquêtes auprès des gens du milieu constituent autant de sources d'information pour étudier le trait de côte (**Grenier et Dubois, 1990**).

La méthode d'analyse diachronique, basée sur la comparaison de photographies aériennes, permet d'apprécier la dynamique du trait de côte au cours d'une période donnée. Elle permet aussi, par la confrontation des résultats avec les données historiques multi sources, de mieux comprendre l'impact des aménagements successifs sur le système côtier.

Dans la baie de Zemmouri, les travaux de construction et d'expansion des ports ont modifiés l'équilibre sédimentaire.

**Les objectifs de ce travail sont :**

- D'analyser l'évolution de l'érosion de la côte meuble de la baie de Zemmouri après 1972 en se basant sur une étude diachronique des photos aériennes et des images satellitaires ;
- De réaliser une étude historique (1972-2017) des aménagements successifs du littoral et d'identifier l'impact de l'anthropisation sur l'évolution de l'équilibre du système côtier ;

**IV.1. Méthodologie :**

Dans le cadre de cette étude, on a utilisé des photos aériennes ortho-rectifiées de 1972 à 2003 et des images satellitaires 2007 et 2017. Le traitement des données s'est déroulé en trois étapes :

- D'abord, L'analyse des photographies aériennes de 1972 à 2003 et des images satellitaire 2007 et 2017: Les photographies aériennes de 1972 à 2003 qui proviennent des documents de l'INCT sous forme papier, ont été scannées et la totalité des images ont été géoréférencées avec ArcGIS 10.2.
- Ensuite la digitalisation des traits de côte et la réalisation des cartes sous le logiciel ArcGIS Desktop 10.2.
- Enfin DSAS v4.3a permis le calcul statistique des vitesses d'érosion (EPR), des taux d'évolution (LRR) et les distances entre la ligne de rivage la plus ancienne (1972) et celle qui est la plus récente (2017) à partir des différents traits de côte extraits des images utilisées.

## IV.2. Calcul des taux d'érosion / accrétion

Le calcul de l'évolution historique a été réalisé à l'aide du logiciel « Digital ShorelineAnalysis System », version 4.3. Ce logiciel a permis de générer de manière automatique des transects recoupant les lignes de rivage de 1972 à 2017 tous les 200 m. Ces transects ont ensuite été ajustés manuellement pour qu'ils recoupent de manière perpendiculaire tous les tracés (traits de côte ou lignes de rivage) des différentes années. L'écart entre chacun des tracés est ensuite calculé et rapporté à une variation annuelle, ce qui génère une base de données sur l'évolution historique du trait de côte pour chaque sous période puis pour la période entière.

Les changements de positions du littoral sont calculés en utilisant trois techniques d'analyse de données. Le taux des points extrêmes (EPR), le mouvement net de la ligne de rivage (NSM) et le taux net de changement à partir de la régression linéaire (LRR).

### ➤ Le taux de point final (the End Point Rate (EPR)):

Il est calculé en divisant la distance de déplacement du littoral par le temps écoulé entre la plus ancienne et la rive la plus récente. Les principaux avantages de l'EPR sont la facilité de calcul et exigence minimale de seulement deux dates du littoral (Faye, 2012).

### ➤ La méthode de régression linéaire (LinearRegression Rate-of-change (LRR))

Il correspond à la valeur de la pente d'une droite de régression linéaire positionnée dans le nuage de points formé par les mesures de distance entre tous les points d'intersection de chaque transect et des traits de côte comparés (ou alors la ligne de base). Il traduit également le taux d'évolution annuelle de la ligne de référence le long de chaque transect, est intéressant si l'on analyse la cinématique littorale pour plus de deux dates.

### ➤ Le mouvement net du trait de côte (the Net ShorelineMovement (NSM))

Le Net ShorelineMovement (NSM) est la distance entre la limite la plus récente et la plus ancienne.

Pour cette étude, on a utilisé comme pas de mesures 200 m entre les transects de 600 m de longueur pour obtenir 201 transects le long de notre Baie (50km environ).

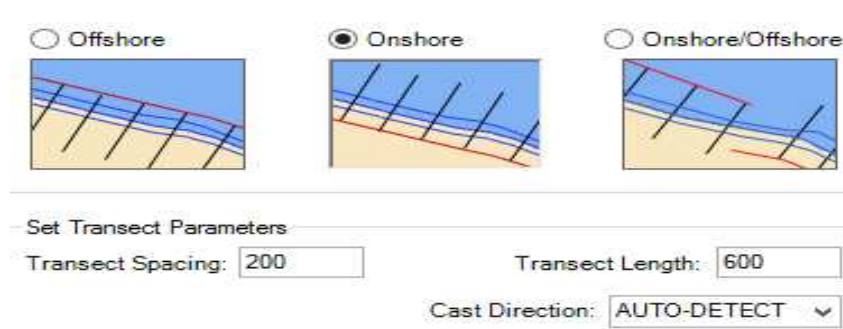


Fig N° IV-01 Boîte de dialogue d'outil DSAS.

**IV.3. Résultats et interprétations :**

L'analyse des photographies aériennes de 1972 à 2003 et des images satellitaire 2007 et 2017 a permis de définir la mobilité du trait de côte de la baie de Zemmouri. On peut trouver des erreurs de précisions liées à la résolution des photos et au traitement (ortho rectification et géoréférencement).

La mobilité du trait de côte extraite de cette analyse a un caractère très affirmé et peut ainsi être prise comme représentative de l'évolution récente durant les deux dernières décennies.

L'étude de la dynamique du trait de côte nécessite le découpage de la baie de Zemmouri en 6 zones représentatives de la ligne de rivage :

- Zone 1 : Cap Djinet – Oued Isser
- Zone 2 : Oued Isser – port de Zemmouri
- Zone 3 : Port de Zemmouri – Cap Blanc
- Zone 4 : Cap Blanc – Rocher Noir
- Zone 5 : Rocher Noir – Oued Corso
- Zone 6 : Oued Corso – Oued Reghaia

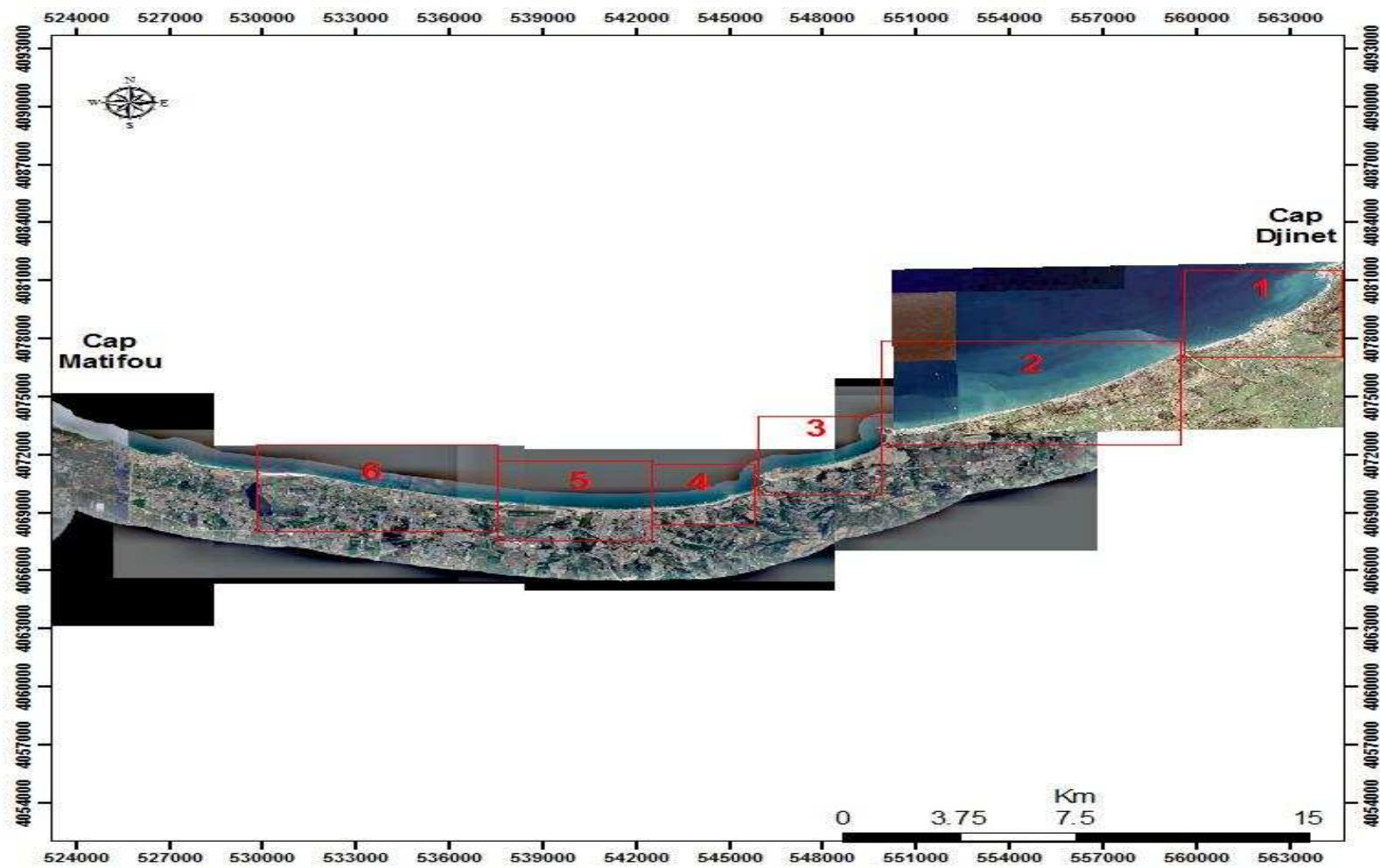


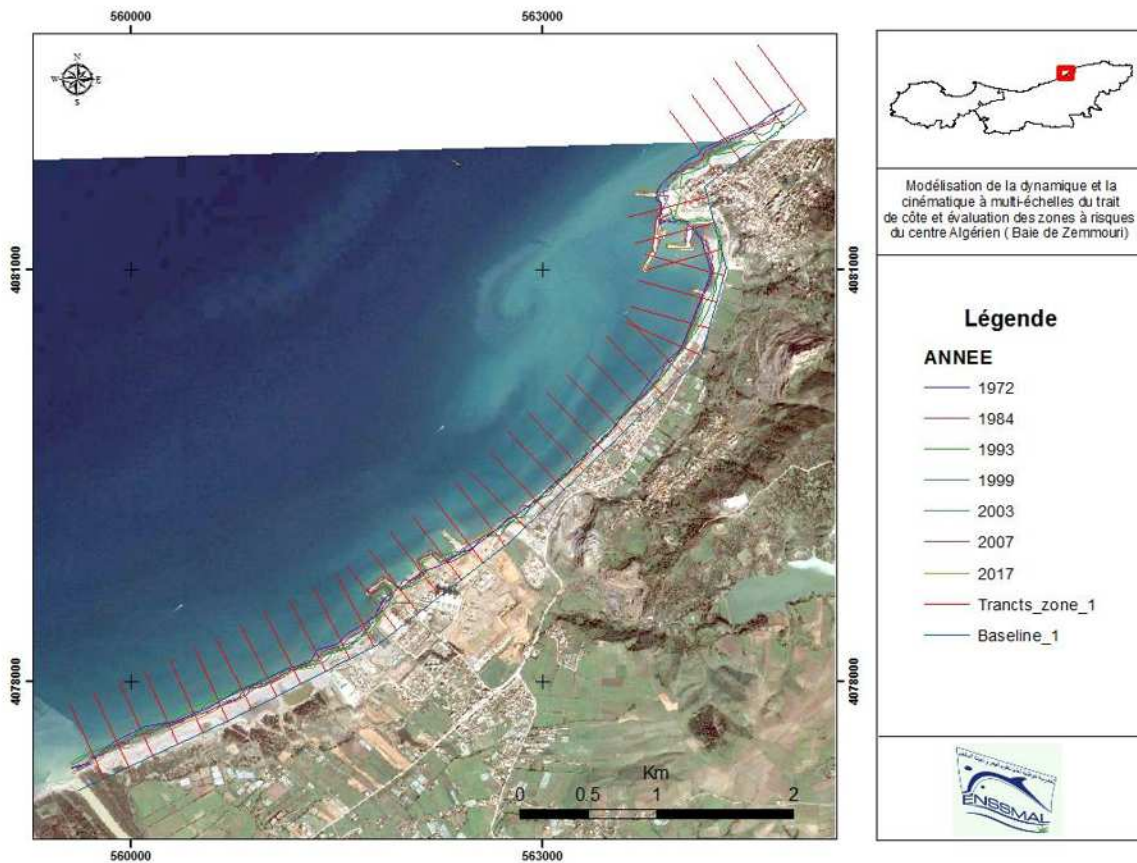
Fig N° IV-02 Découpage de la baie de Zemmourri

Les résultats de cette cinématique conduisent à la réalisation d'une cartographie de l'aléa érosion côtière de 1972 à 2017, donc de représenter la distribution spatiale et temporelle des tendances d'évolution de ce linéaire côtier et d'appréhender les dynamiques sédimentaires historiques et périodiques des différentes unités morpho sédimentaires composant ce littoral.

Le taux d'évolution est obtenu à partir des EPR, ce mode de représentation synthétise et spatialise les rythmes d'évolution dans lesquels sont intégrés tous les traits de côte digitalisés entre 1972 et 2017. A chaque unité correspond un taux d'évolution moyen par période.

L'analyse de l'évolution du trait de côte se fera selon les 3 statistiques antérieurement définis NSM, EPR et LRR entre 1972 et 2017 sur les zones de 1 à 6.

- **Zone 1 :**



**Fig N° IV-03 : Zone 1 : Cap Djinet – Oued Isser**

L'analyse de l'évolution du trait de côte de la première zone sur 38 transects nous a permis d'aboutir aux résultats suivants :

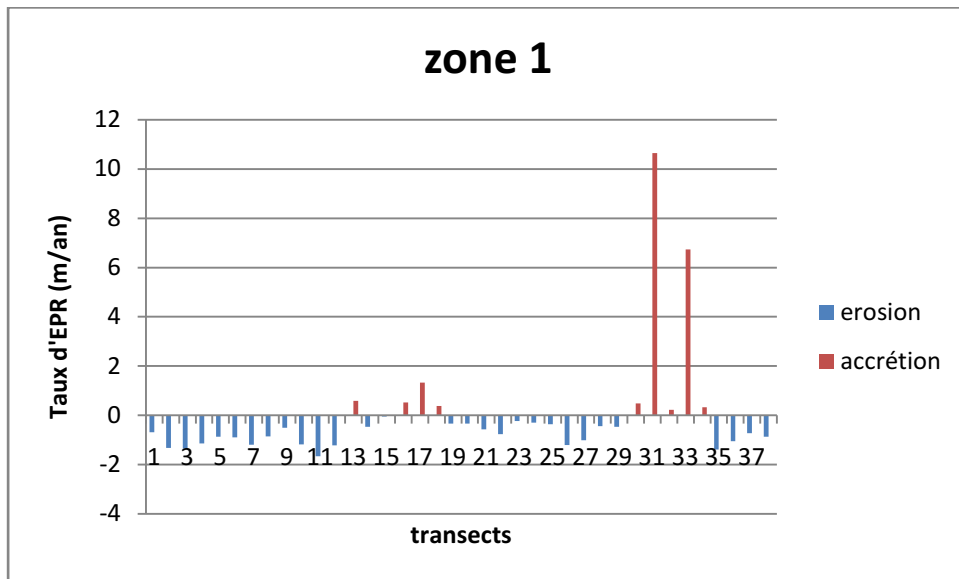


Fig N°IV-04 Diagramme EPR/Transect Zone 1

La comparaison des traits de côte de 1972 et de 2017 témoigne d'une érosion du littoral intervenue entre ces deux dates. Le taux moyen de recul est de -0,6 m/an si on tient compte de toutes les mesures. Les plus forts taux d'érosion sont localisés au voisinage de l'épi et au niveau de la zone après la centrale électrique avec des EPR qui varient entre -0.5 et -1 m/an. Cette évolution s'expliquerait par des causes naturelles en présence des infrastructures (port, centrale électrique) et aménagement (épis) susceptible de perturber la dynamique du rivage. La construction d'un port et un épi pour bloquer les sédiments a divisé le littoral en deux parties (Fig IV-03) : une zone septentrionale en progradation (partie Est) et une zone méridionale en érosion (partie ouest).

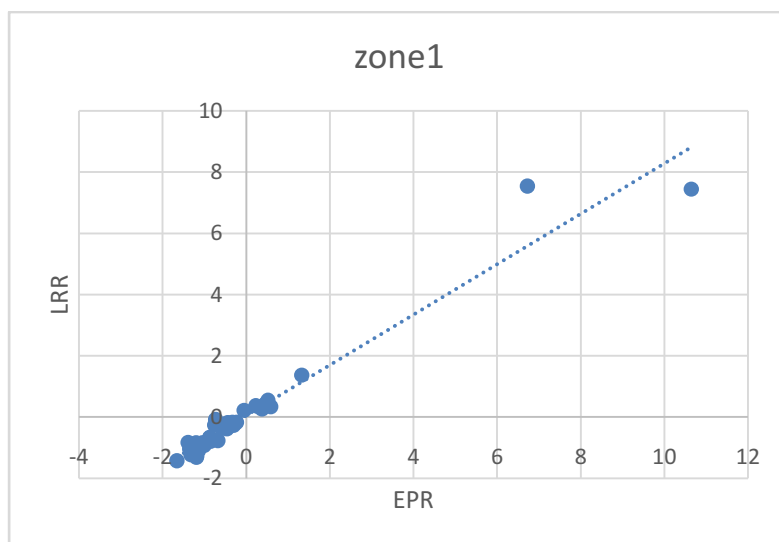


Fig N°IV-05 Diagramme LRR/EPR courbe de régression Zone 1

• Zone 2 :

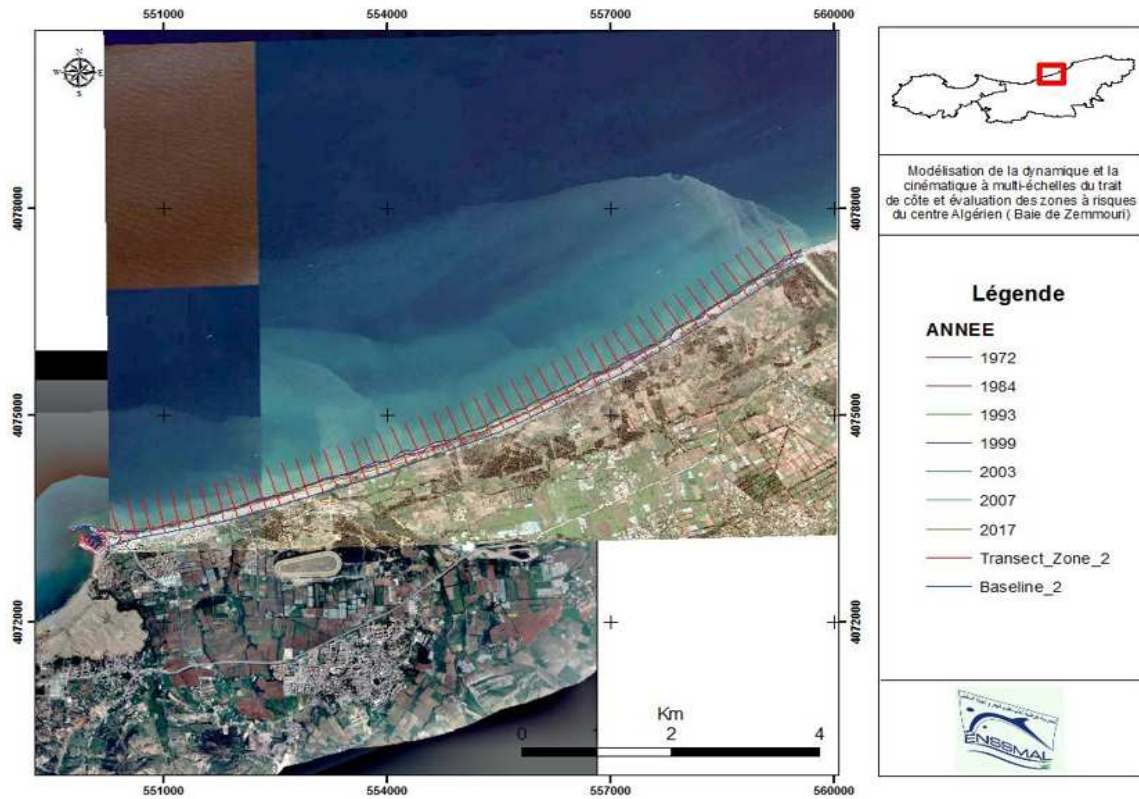


Fig N°IV-06 : Zone 2 : Oued Isser – port de Zemmouri

L’analyse de l’évolution du trait de côte de la deuxième zone sur 52 transects nous a permis d’aboutir aux résultats suivants :

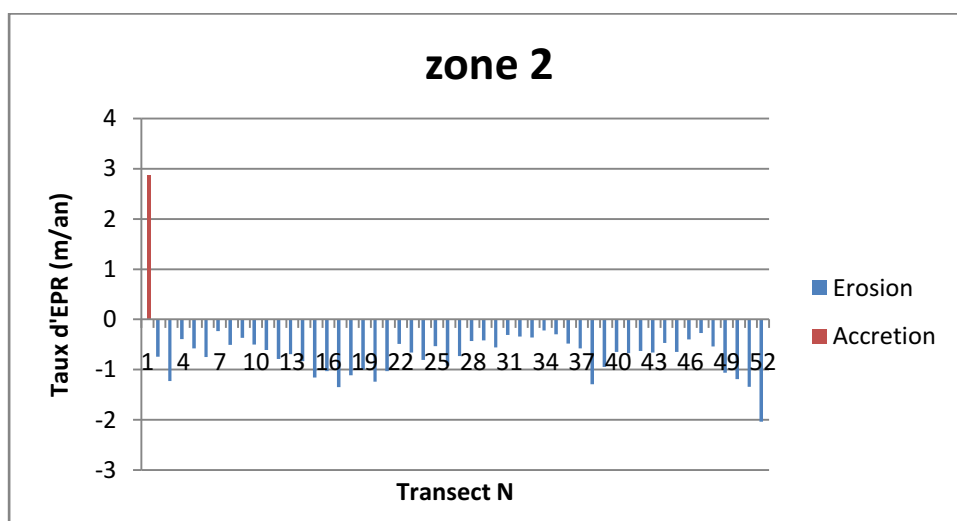


Fig N°IV-06 : Diagramme EPR/Transect Zone 1

La comparaison des traits de côte de 1972 et de 2017 témoigne d’une érosion du littoral intervenue entre ces deux dates. Le taux moyen de recul est de -0,7 m/an si on tient compte de toutes les mesures. Les plus forts taux d’érosion sont localisés au voisinage d’Oued Isser et au niveau de la zone avant le port de Zemmouri avec des EPR qui varient entre -0.5 et -2 m/an. Cette évolution s’expliquerait par des causes naturelles (Oued Isser) et infrastructure (Port Zemmouri) susceptible de perturber la dynamique du rivage dans toute la zone (Fig IV-06) est en érosion sauf au niveau du Port.

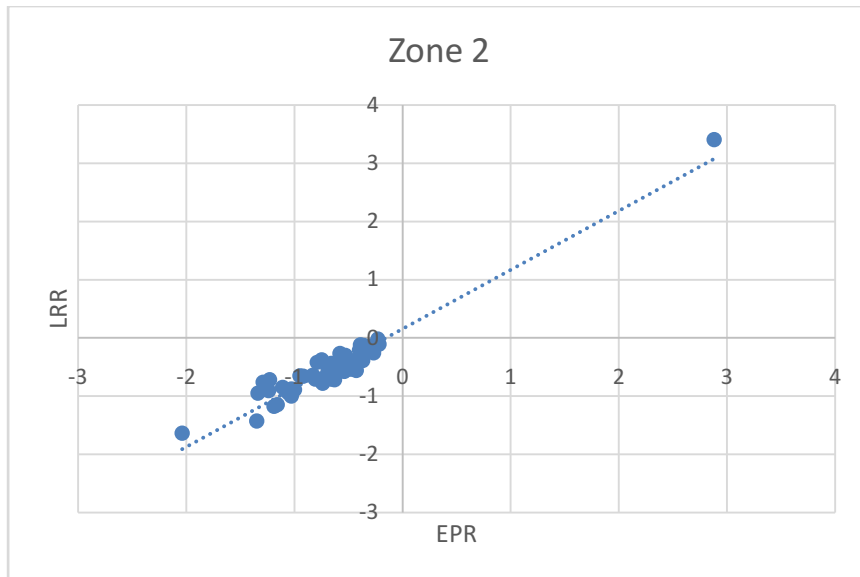


Fig N°IV-07 : Diagramme LRR/EPR courbe de régression Zone 2

- Zone 3 :

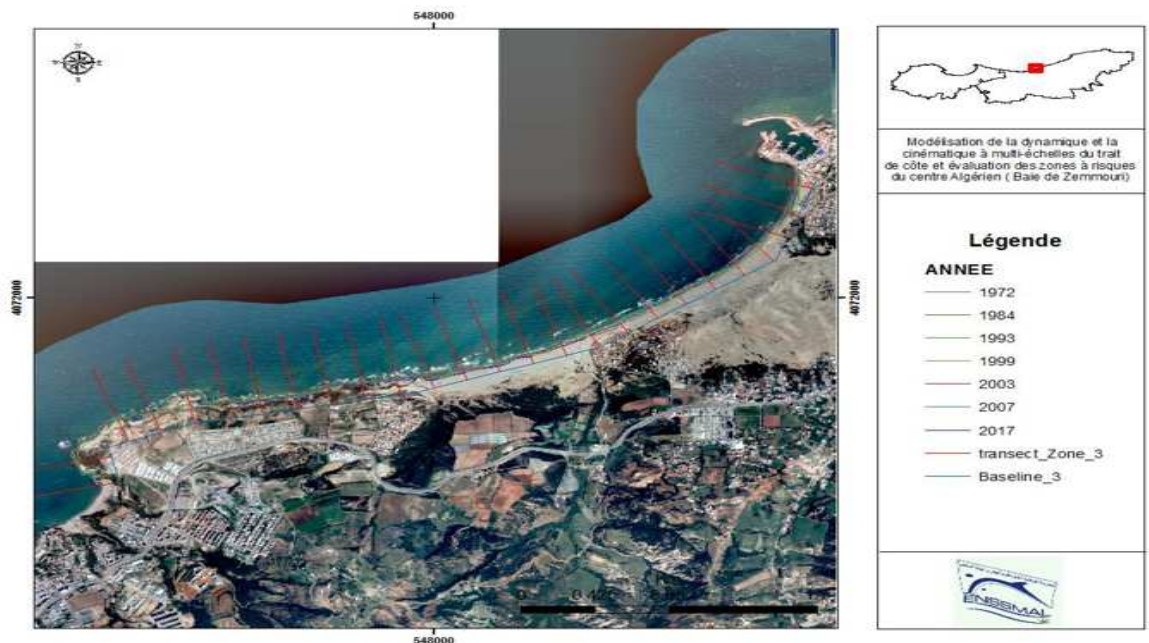


Fig N°IV-08 Zone 3 : Port de Zemmouri – Cap Blanc

L'analyse de l'évolution du trait de côte de la troisième zone sur 26 transects nous a permis d'aboutir aux résultats suivants :

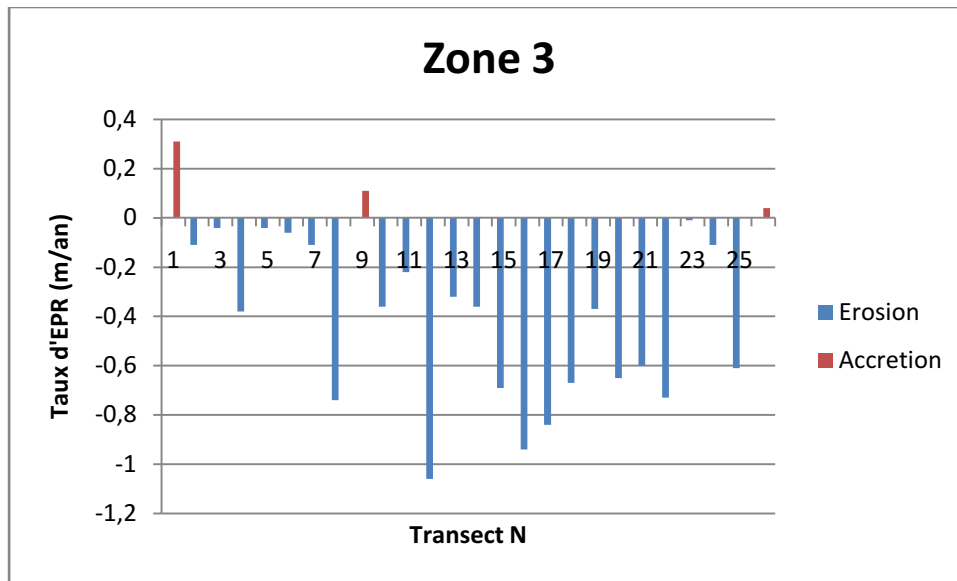


Fig N°IV-09 Diagramme EPR/Transect Zone 3

La comparaison des traits de côte de 1972 et de 2017 témoigne d'une érosion du littoral intervenue entre ces deux dates. Le taux moyen de recul est de -0,4 m/an si on tient compte de toutes les mesures. Les plus forts taux d'érosion sont localisés au voisinage du Port avec des EPR qui varient entre -0.1 et -1m/an. Cette évolution s'explique par des causes naturelles en présences d'une zone rocheuse (dans la partie Ouest) et l'infrastructure (Port de Zemmouri) qui perturbe la dynamique du rivage. La construction d'un port et la présence des rochers a divisé le littoral en deux parties (**Fig IV-08**) : une grande zone en érosion (partie Est) et une petite zone en progradation (partie Ouest).

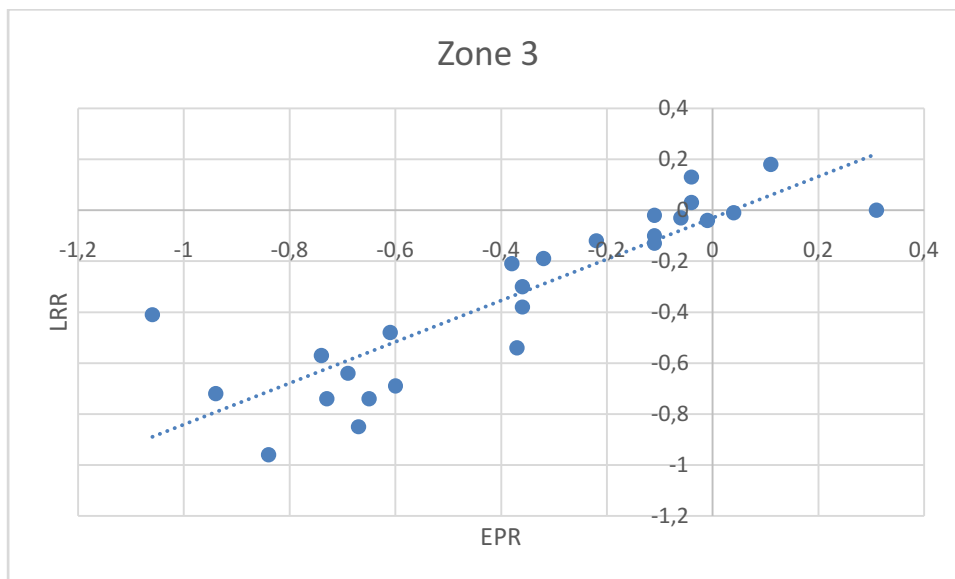


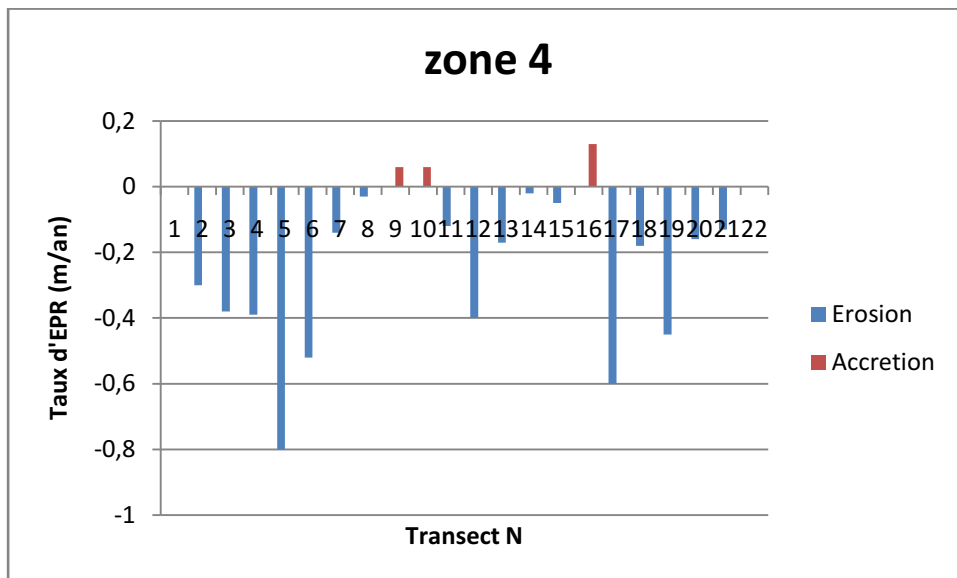
Fig N°IV-10 Diagramme LRR/EPR et courbe de régression Zone 3

- **Zone 4 : Cap Blanc – Rocher Noir**



**Fig N°IV-11 Zone 4 : Cap Blanc – Rocher Noir**

L’analyse de l’évolution du trait de côte de la quatrième zone sur 21 transects nous a permis d’aboutir aux résultats suivants :



**Fig N°IV-11 Diagramme EPR/Transect Zone 4**

La comparaison des traits de côte de 1972 et de 2017 témoigne d’une érosion du littoral intervenue entre ces deux dates. Le taux moyen de recul est de -0,2 m/an si on tient compte de toutes les mesures. Les forts taux d’érosion obtenus sont localisés au niveau de la zone après le

Cap Blanc et la zone avant le Rocher Noir avec des EPR qui varient entre -0.1 et -0.8m/an. La zone est exposée en face de la mer sans aucune construction de protection et la présence d'un îlot a divisé le littoral en deux parties (Fig IV-11) : une zone en érosion (partie Ouest) et une zone en progradation (partie Est).

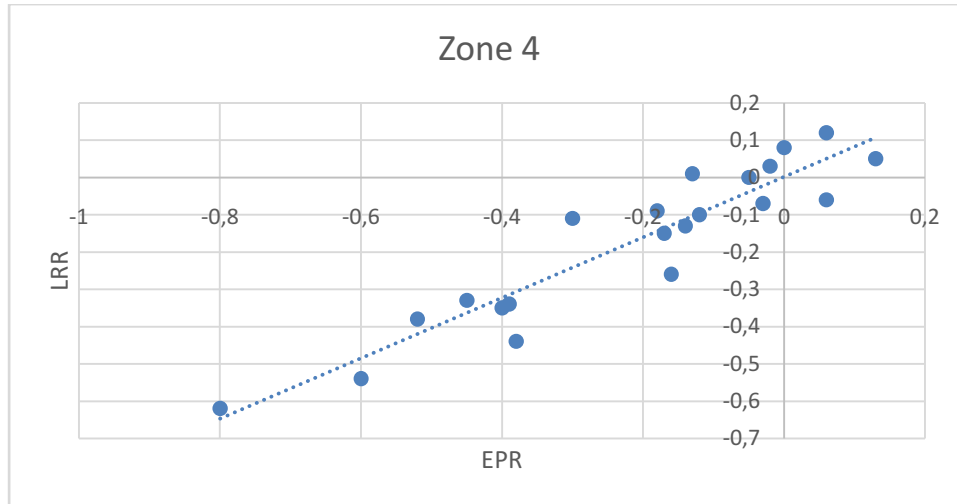


Fig N°IV-12 Diagramme LRR/EPR et courbe de régression Zone 4

- Zone 5 :

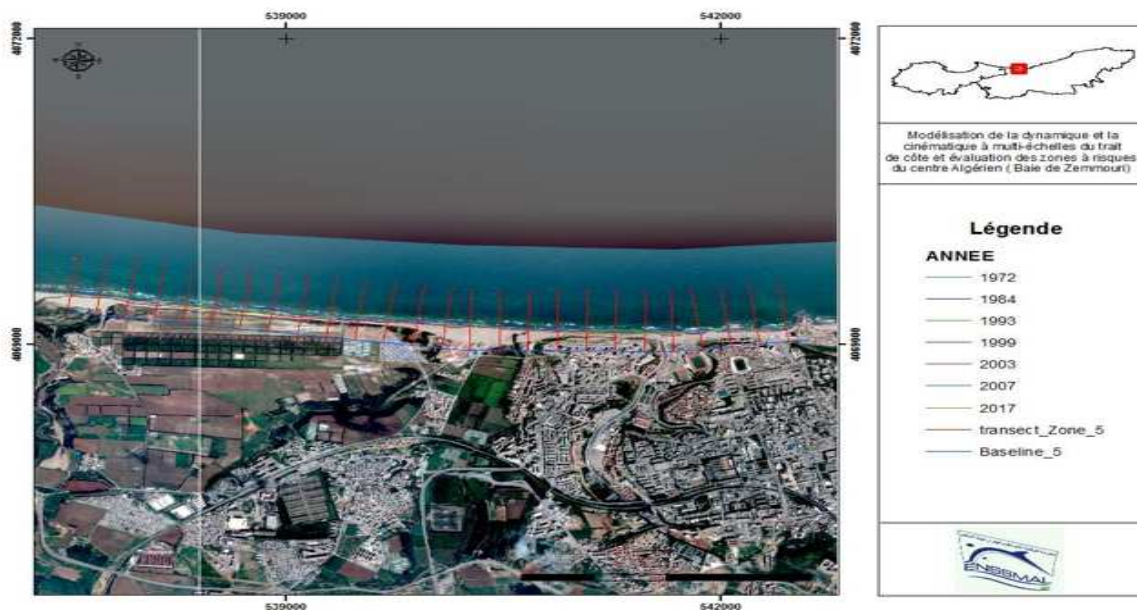


Fig N°IV-13 Zone 5 : Rocher Noir – Oued Corso

L'analyse de l'évolution du trait de côte de la cinquième zone sur 26 transects nous a permis d'aboutir aux résultats suivants :

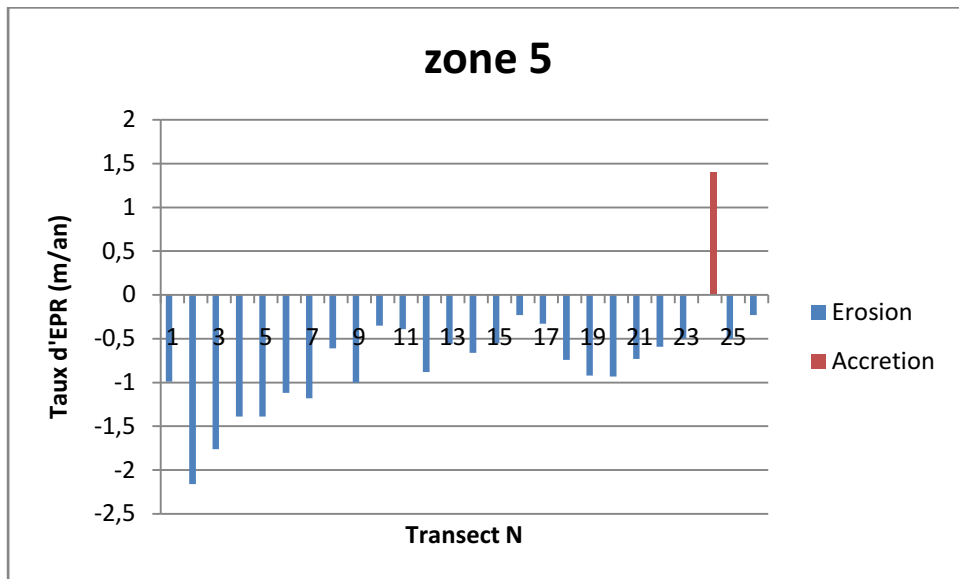


Fig N°IV-14 Diagramme EPR/Transect Zone 5

La comparaison des traits de côte de 1972 et de 2017 témoigne d’une érosion du littoral intervenue entre ces deux dates. Le taux moyen de recul est de -0,8 m/an si on tient compte de toutes les mesures. Les plus forts taux d’érosion sont localisés au voisinage d’Oued Corso avec des EPR qui varient entre -1 et -2m/an. Cette évolution s’expliquerait par des causes naturelles susceptibles de perturber la dynamique du rivage. La présence d’Oued Corso a divisé la zone en deux parties (**Fig IV-13**) : une zone en progradation près du Rocher Noir (partie Est) et une zone en érosion (partie Ouest).

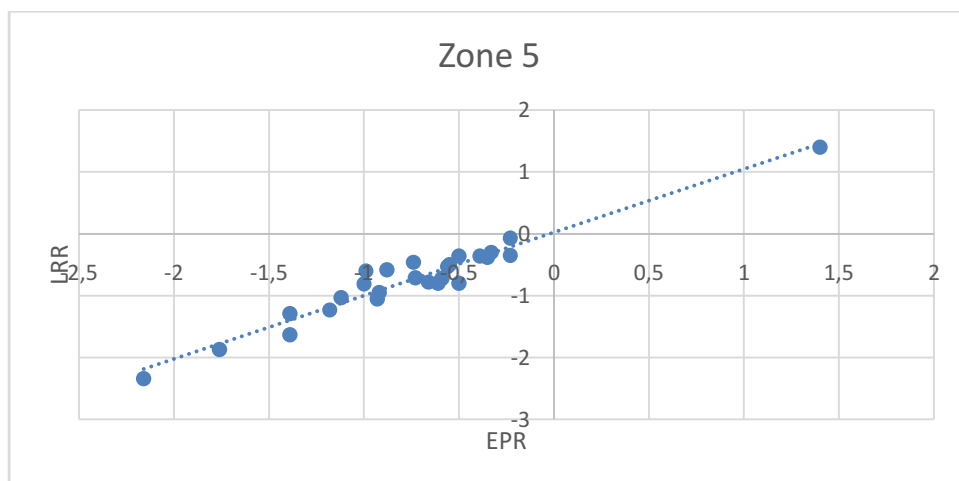


Fig N°IV-15 Diagramme LRR/EPR et courbe de régression Zone 5

• Zone 6 :

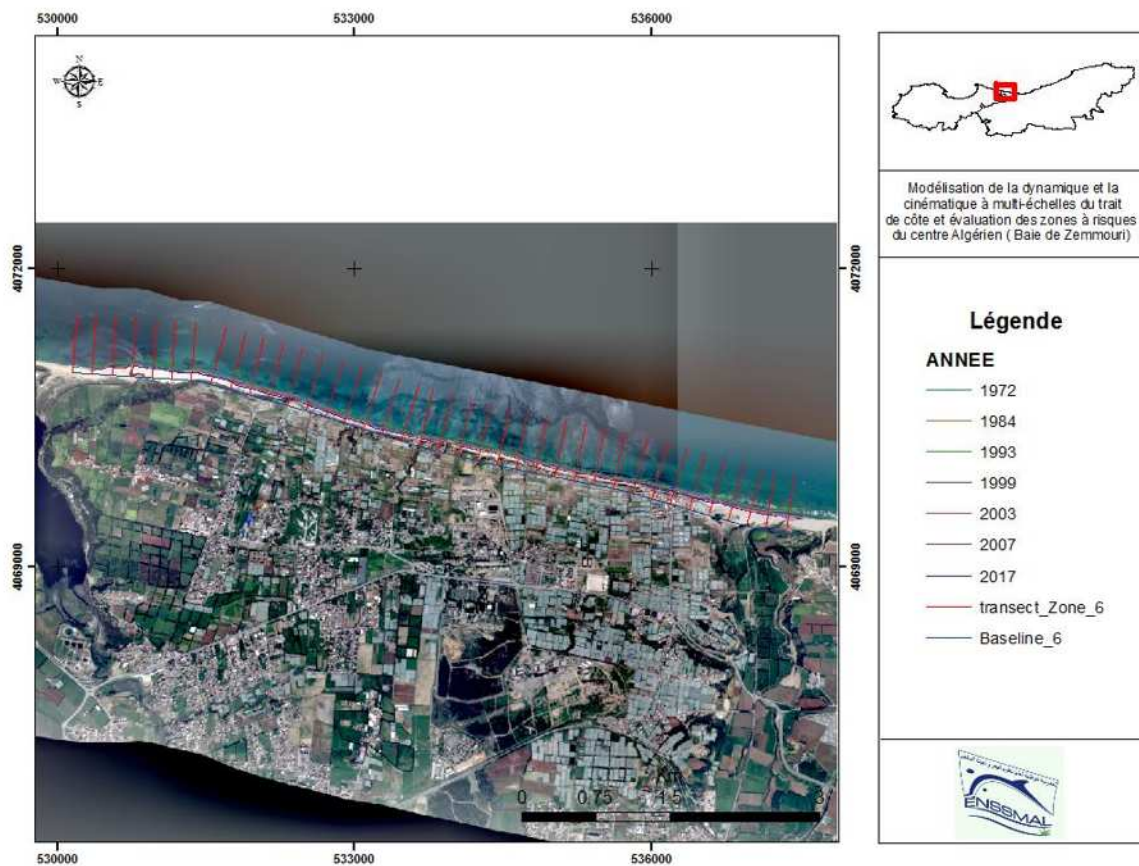


Fig N°IV-16 Zone 6: Oued Corso – Oued Reghaia

L'analyse de l'évolution du trait de côte de la sixième zone sur 38 transects nous a permis d'aboutir aux résultats suivants :

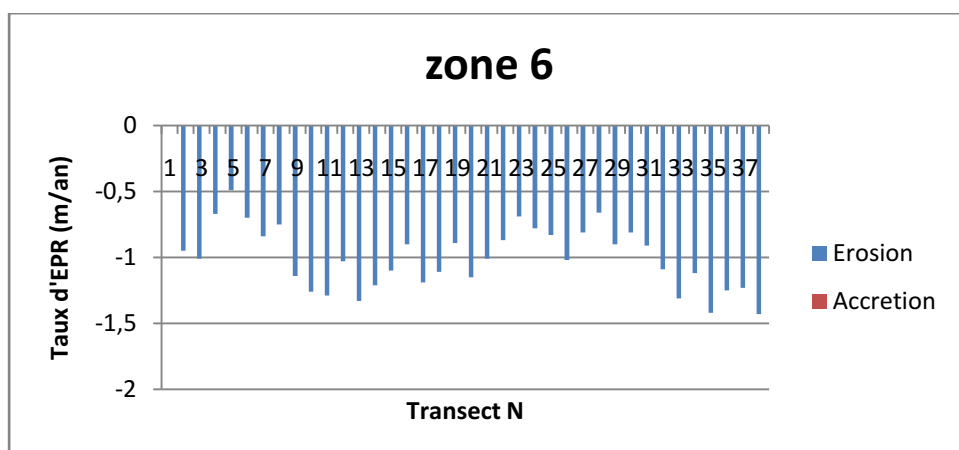
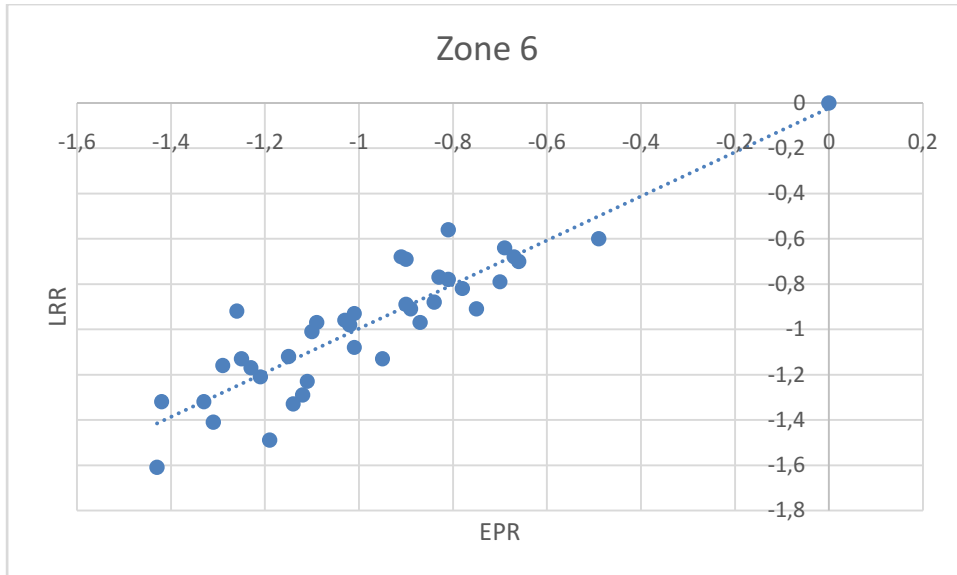


Fig N°IV-17 Diagramme EPR/ Transect Zone 6

La comparaison des traits de côte de 1972 et de 2017 témoigne d'une érosion du littoral intervenue entre ces deux dates. Le taux moyen de recul est de  $-0.97$  m/an si on tient compte de toutes les mesures. Les plus forts taux d'érosion sont distribués sur toute la zone avec des EPR qui varient entre  $-0.5$  et  $-1.4$  m/an. Toute la zone (**Fig IV-16**) est en érosion.



**Fig N°IV-18** Diagramme LRR/EPR et courbe de régression Zone 6

Tab N°IV-01 Synthèse de la dynamique côtière de la baie de Zemmouri

+

Baie de Zemmouri						
	ZONE 1	ZONE 2	ZONE 3	ZONE 4	ZONE 5	ZONE 6
<b>Nombre de Transects</b>	38	52	26	21	26	38
<b>Longueur (m)</b>	9341.64	11671.21	5772.24	4182.54	5375	7508.14
<b>Taux moyen du changement du trait de côte (m/an)</b>						
<b>EPR</b>	-0.05684	-0.65788	-0.36769	-0.21857	-0.74192	-1.00405
<b>LRR</b>	0.005789	-0.51	-0.3412	-0.17524	-0.73462	-1.00108
<b>Taux Max du changement du trait de côte (m/an)</b>						
<b>EPR</b>	10.65	2.88	0.31	0.13	1.4	-0.49
<b>LRR</b>	7.55	3.41	0.18	0.12	1.4	-0.56
<b>Taux minimum de changement du trait de côte (m/an)</b>						
<b>EPR</b>	-1.66	-2.04	-0.84	-0.8	-2.16	-1.43
<b>LRR</b>	-1.43	-1.64	-0.96	-0.62	-2.34	-1.61
<b>Nombre de transects en accrétion</b>						
<b>EPR</b>	9	1	2	4	1	0
<b>LRR</b>	10	1	3	6	1	0
<b>Nombre de transects en érosion</b>						
<b>EPR</b>	29	51	24	17	25	37
<b>LRR</b>	28	51	22	15	25	37
<b>% de transects en accrétion</b>						
<b>EPR</b>	23.68	1.92	7.69	19.05	3.85	0
<b>LRR</b>	26.31	1.92	11.53	28.57	3.85	0
<b>% de transects en érosion</b>						
<b>EPR</b>	76.34	98.08	92.31	80.95	96.15	100
<b>LRR</b>	73.69	98.08	88.47	71.43	96.15	100

# **CHAPITRE V**

**L'Aléa de la submersion  
marine dans la grande baie de  
Zemmouri**

**Introduction :**

L'espace littoral est la zone d'interface entre la mer et la terre. Cet espace étant sujet à l'assaut de la mer, ils appartiennent même aux "espaces de l'eau" selon Tricot (2012). En effet, le littoral a longtemps été considéré comme un espace laid et/ou dangereux où seules les populations dont le travail était lié à la mer y vivaient.

La connaissance des phénomènes océano-météorologiques extrêmes est fondamentale pour prévenir les risques de submersion marine en zone côtière ou concevoir des aménagements côtiers, portuaires ou des plate-formes offshore, avec des périodes de retour d'intérêt allant généralement de 10 à 100 ans.

La conception ou la vérification de protections côtières adaptées nécessite la connaissance précise de la probabilité d'occurrence des conditions océano-météorologiques extrêmes susceptibles de générer des submersions marines (le niveau marin ou les vagues par exemple).

En particulier, la notion de niveau de retour des aléas maritimes est fondamentale en ingénierie marine et côtière. Par exemple, pour les états de mer, caractérisés par la hauteur de vague dite significative, le niveau de retour 100 ans correspond à la hauteur de vague dépassée en moyenne une fois tous les 100 ans. En d'autres termes, c'est la hauteur de vague qui a une probabilité  $10^{-2}$  d'être dépassée chaque année.

Les submersions marines sont la conséquence de fortes tempêtes et peuvent aussi être influencées par le marnage de la mer ou l'océan (Hénaff et Philippe, 2014), l'ampleur du phénomène étant accentuée si les deux éléments conjuguent de fortes intensités.

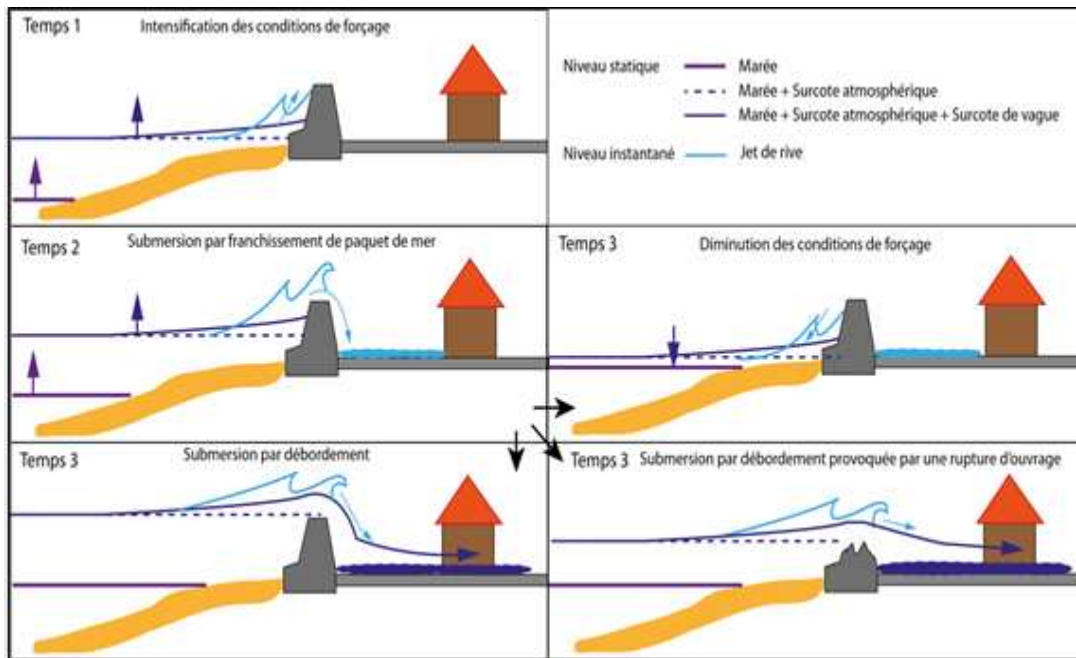
L'objectif de cette étape est de réaliser une carte des aléas de submersion en considérant la configuration actuelle de période de retour 10 ans et 100 ans et à l'horizon 2100 pour l'événement de période de retour 100 ans.

**V.1. La submersion marine :**

La submersion marine est définie comme une inondation temporaire de la zone côtière par la mer dans des conditions météorologiques et marégraphiques sévères (MATE, 1997). Les submersions envahissent généralement les terrains situés en dessous du niveau des plus hautes mers mais atteignent aussi parfois des altitudes supérieures si des projections d'eaux marines franchissent des ouvrages de protection et/ou la crête des cordons littoraux.

Elles peuvent se produire lorsqu'il y a :

- Rupture d'un cordon sédimentaire (plage, dunes, cordon de galets) suite à une forte érosion ;
- Débordement ou rupture de digues et d'ouvrages de protection ;
- Franchissement exceptionnels de ces ouvrages par des « paquets de mer ».



**Fig N°V-1** : Typologie des submersions marines (franchissement, débordement, rupture d'ouvrage) (BRGM ;2012)

Ces trois phénomènes (**Fig V-1**) peuvent se produire conjointement ou indépendamment. Cependant le phénomène de franchissement apporte des volumes d'eau négligeables en comparaison des volumes apportés par débordement ou rupture. De ce fait, lorsqu'une inondation est générée par débordement ou rupture, le franchissement n'est pas étudié.

Le calcul de l'aléa submersion marine est par conséquent mené pour chaque zone identifiée comme potentiellement submersible, en tenant compte des spécificités du site considéré (type d'ouvrage, dunes, type de franchissement, scénarios de rupture).

## V.2. Principe de la cartographie des zones d'aléa submersion marine :

Ce principe est basé sur une délimitation complexe et précise des zones soumises à l'aléa « submersion marine ». Il définit que localement à partir d'études et de relevés de terrain importants, sur terre et en mer.

Le zonage de l'aléa repose, sur une zone d'impact direct de la houle, et en arrière sur la définition d'une cote de référence au niveau du rivage.

Pour un site donné le calcul de la cote de référence nécessite :

- 1) le niveau de la pleine mer de vive eau ;
- 2) la surcote atmosphérique ;
- 3) le setup ;
- 4) la valeur de l'élévation du niveau marin d'une dizaine de centimètres.

Les niveaux d'aléa moyen et faible sont définis en fonction des hauteurs de submersion uniquement, calculées en croisant la cote de référence d'une part, et l'altitude du sol d'autre part (par analogie avec ce qui est habituellement admis en matière de zonage de l'aléa inondation).

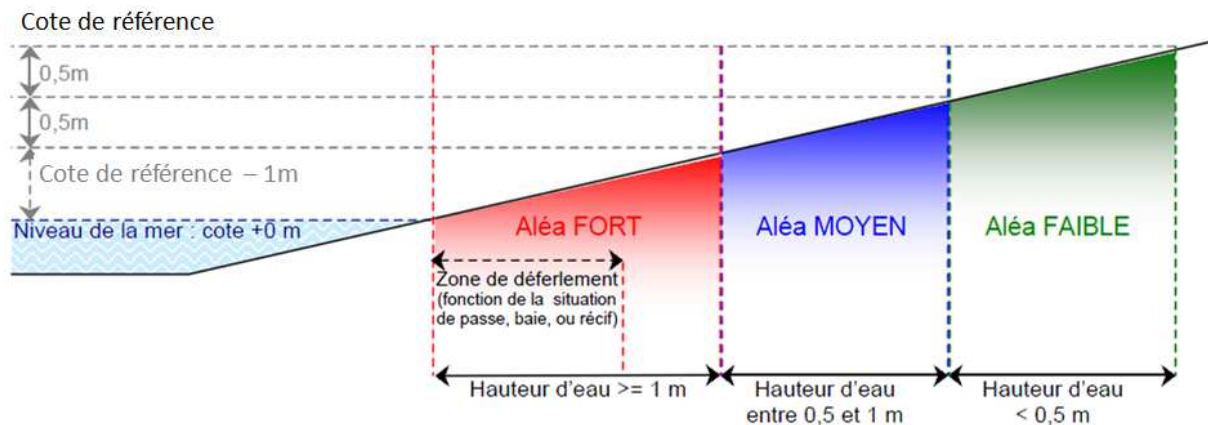


Fig N°V-2: Principe de la cartographie des zones d'aléa submersion marine.

### V.3. Le phénomène responsable de ces submersions marines d'origine météorologique :

#### V.3.1. Le surcote :

La surcote désigne la différence positive entre le niveau marin observé et qui existerait en présence de la marée astronomique seule.

Elle est générée, lors de passage de dépression ou d'anticyclone qui provoque un échange entre l'atmosphère (vent d'afflux et variation de pression atmosphérique) et la mer, c'est-à-dire qui souffle de la mer vers la terre.

On peut dès lors considérer deux types de surcote, à savoir la surcote d'origine barométrique et la surcote d'origine anémométrique. Ces deux phénomènes peuvent se combiner, amplifiant alors la surcote totale.

Lors d'une tempête sur l'océan, la baisse de la pression atmosphérique entraîne une élévation du plan d'eau. Selon la règle du « baromètre inversé », une baisse de la pression atmosphérique de 1 hPa entraîne une élévation de la surface de l'eau de 1 cm (**Harris, 1963**).

Les vents qui accompagnent une tempête agissent par friction sur la surface de la mer et génèrent une accumulation d'eau au niveau des littoraux exposés face à ces vents – alors qualifiés de vents d'afflux.

Plus l'action du vent s'exerce sur une grande distance (*fetch*), plus l'élévation du niveau d'eau à la côte est importante (**Harris, 1963**).

La direction du vent joue un rôle primordial dans ce processus d'élévation du niveau d'eau à la côte.

Lorsqu'une dépression se déplace au-dessus d'un océan, elle est donc accompagnée par une onde de pression et une onde générée par l'action du vent. La somme de ces deux ondes forme ce que l'on appelle une onde de tempête (**Hontarrède et Galli, 2001**).

#### V.3.2. Estimation des surcotes :

Il existe deux moyens pour estimer une surcote :

La méthode qui nécessite d'utiliser un marégraphe : mesure de la marée observée. Afin d'obtenir la valeur de surcote, il suffit donc de soustraire la marée prédite (marée astronomique) à la valeur de marée observée.

A l'aide de formules empiriques :

La surcote barométrique est estimée à partir de la règle du « baromètre inversé ». la pression moyenne standard au niveau de la mer est d'environ 1013 hPa, Chaque diminution de 1 hectopascal entraîne une élévation du plan d'eau de 1 cm.

La surcote générée par l'effet des vents d'afflux (*wind setup* en anglais) peut être estimée à partir de l'expression de K.F. Bowden (1983) :

$$d_{\xi} = (\rho_a C_D W^2 / g \rho h) d_x \dots \dots \dots \text{(eq V.1)}$$

Où :

$\rho_a$  : Densité de l'air (1,21 kg/m<sup>3</sup>)

W : vitesse du vent en m/s 10<sup>-3</sup>

$C_D$  : fonction de la vitesse du vent

g : accélération de la pesanteur (9,81 m/s<sup>2</sup>)

$\rho$  : Densité de l'eau de mer (eau à 12° = 1026 kg/m<sup>3</sup>)

h : profondeur de fermeture du profil en m, calculé par l'expression  $h = 2,28 H_e 68,5$

( $H_e^2/gT_e^2$ ) où  $H_e$  et  $T_e$  sont la hauteur et la période associée des vagues excédantes seulement 12h par année.

$d_x$  = fetch du centre de la dépression à la côte en m

Pour obtenir la valeur de surcote totale, il faut ajouter les deux surcotes la surcote barométrique à la surcote anémométrique.

Au phénomène de surcote s'ajoute l'effet des vagues déferlantes dans l'élévation du plan d'eau à la côte.

La part de l'élévation du niveau d'eau à la côte induite par l'action des vagues s'exprime à travers le phénomène de *runup*, dont l'amplitude verticale est définie comme étant la différence entre le niveau maximum atteint par le jet de rive et le niveau moyen de la mer observé sans agitation (Komar, 1998) (figure V.3). Le *runup* est la somme de deux phénomènes distincts : l'élévation liée à une accumulation d'eau entre la zone de déferlement et la plage, appelée *wave setup*, et une série d'élévations maximales atteintes par le jet de rive nommée *swashrunup* (Komar, 1998).

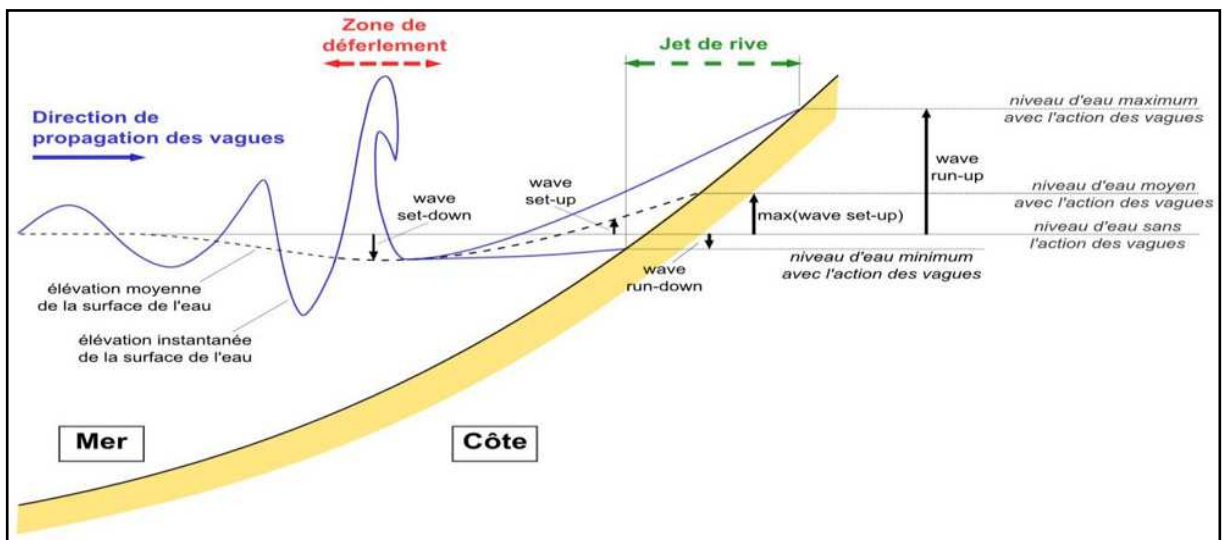


Fig N°V-3 : Principe de formation du waveset-up.

**V.3.3. Le Wave Setup :**

Des observations in situ ont montré que durant les tempêtes, le niveau d'eau à la côte dans les zones exposées aux vagues pouvait être un mètre plus haut que dans les zones protégées. Dans les années 60, plusieurs auteurs ont proposé une explication théorique du *setup* (Dorrestein, 1961 ; Longuet-Higgins et Stewart, 1962, 1963, 1964). Selon ces auteurs, l'augmentation de l'énergie associée au déferlement des vagues dans la zone de surf sont compensés par une déformation du niveau d'eau moyen qui prend la forme d'une pente orientée vers la plage. Plus tard, des mesures *in situ* et en laboratoire ont permis de montrer que le *setup* ( $\eta$ ) dépendait de la profondeur d'eau ( $h$ ), de la hauteur de la houle et de la pente de la plage. En 1985, R.A. Holman et A.H. Challenger ont mis au point une formule de calcul du *setup*, repris par P. D. Komar en 1998 :

$$\eta_{max} = 0.45 H_{mo} \xi_o = 0.18 g^{1/2} \tan \beta H_{mo}^{1/2} T$$

$$\xi_o = \tan \beta / (H_{mo} / L_o)^{1/2}$$

Où :

$\eta_{max}$  : représente la valeur du *setup* maximum en m

$H_{mo}$  :Hauteur de la houle au large en m

$\tan \beta$  :Pente de la plage

$g$  : accélération de la pesanteur (9,81 m/s<sup>2</sup>)

$T$  : période (de la houle) en s

$\xi_o$  : Nombre d'Iribarren

$L_o$  : longueur d'onde au large (1.56 T<sup>2</sup>)

**V.3.4. Le Runup :**

Représente la hauteur maximale atteinte par le jet dérive. Il apparaît que le *runu* est fonction de la pente de la plage ( $\tan\beta$ ), de la hauteur et de la longueur d'onde de la houle au large ( $H_{mo}$  et  $L_o$ ) (Hunt, 1959) et donc du nombre d'iribarren  $\xi_o$  .

Le nombre d'Iribarren exprime les différentes formules s'appliquent en fonction du contexte morpho-dynamique.

Pour un nombre d'Iribarren inférieur à 0,3 :

$$R_{2\%} = 0.043 (H_{mo} L_o )^{1/2} \dots\dots\dots (eq V.3)$$

Pour un nombre d'Iribarren compris entre 0,3 et 1,25 :

$$R_{2\%} = 1.1 \left( 0.35 \beta_f (H_{mo} L_o )^{1/2} + \frac{[H_{mo} L_o (0.563 \beta_f + 0.004)^{1/2}]}{2} \right) \dots\dots (eq V.4)$$

Où :

$\beta_f$  = pente de la plage émergée sur laquelle s'effectue le jet de rive.

Enfin pour les plages où le nombre d'Iribarren est supérieur à 1,25 :

$$R_{2\%} = 0.73 \tan\beta (H_{mo} L_o )^{1/2} \dots\dots\dots (eq V.5)$$

Les niveaux d'eau extrêmes sont générés par la combinaison des conditions météo-marines : basses pressions, vents d'afflux, agitation marine et marée de vive-eau.

Les phénomènes de submersion du littoral interviennent généralement lorsque le niveau d'eau à la côte devient suffisamment haut pour franchir ou déborder un cordon littoral (**Benavente et al., 2006**).

Sur le littoral, la quantification des niveaux d'eaux extrêmes est donc primordiale, car elle permet de définir, par exemple, la côte d'arase d'ouvrages côtiers ou encore de déterminer les niveaux altitudinaux de référence des zones potentiellement inondables par la mer (**Garry et al., 1997 ; Benavente et al., 2006 ; Peeters et al., 2009**).

### V.3.5. Niveau marin maximal statique et instantané :

L'intensité de la submersion est conditionnée par le niveau marin extrême atteint pendant les tempêtes. En cohérence avec le modèle de Sallenger (2000).

On distingue :

- Le niveau marin statique atteint pendant l'intégralité de la tempête :

$$N_{\max} = \text{setup} + \eta \dots \dots \dots \text{ (eq V.6)}$$

où : setup = remontée locale du niveau marin ;

$\eta$  = surcote.

- Le niveau instantané maximal, atteint par le jet de rive sur la plage (run-up) :

$$N_{\max \text{ instantané}} = R_{2\%} + \eta \dots \dots \dots \text{ (eq V.7)}$$

où :  $R_{2\%}$  représente le run-up extrême (2% les plus hauts).

$R_{2\%}$ , incluant le set-up des vagues et le jet de rive extrême, définira l'élévation maximale d'eau pendant quelques secondes, et non un niveau statique d'inondation. Les secteurs qui pourraient être franchis lors de la tempête est défini notamment par ce choix de valeur extrême.

H : représente la surcote pendant la tempête.

### V.3.6. Evaluation des différents niveaux d'inondation :

Le niveau marin peut, se représenter par une superposition de deux phénomènes principaux : la marée astronomique (déterministe), et la surcote météorologique (stochastique). Cette décomposition est valable en absence de vagues (le niveau marin *au repos*). Quand celles phénomènes sont présentes, s'ajoutent au niveau marin des composantes statique et dynamique (waveset-up, wave run-up).

L'approche empirique utilisée pour déterminer les niveaux d'inondation dans les régions côtière et d'estuaire est basée sur la formule de Hoozemans *et al.* (1993).

$$D_{ft} : \text{MHW} + \text{St} + \text{Wf} + \text{Pf} \dots \dots \dots \text{ (eq V.8)}$$

Avec :

MHW : Niveau moyen des hautes eaux ;

St : Elévation relative du niveau marin ;

Wf : Hauteur des houles de tempêtes responsables des inondations ;

Pf : Elévation du niveau marin sous l'effet d'une baisse de pression.

Les étapes méthodologiques proposées par Hoozemans *et al.* (1993) et appliquées par Snoussiet *et al.* (2008), ont été suivies, pour déterminer les niveaux d'inondation par la somme des facteurs impliqués dans l'élévation du niveau de la mer. Par conséquent, les contributions des phénomènes induits par le niveau d'eau extrême ont été simulées: haute ligne d'eau maximale au

cours des 20 dernières années; montée du niveau de la mer due aux tempêtes : surcotes et haute vague; montée du niveau de la mer projeté pour le prochain siècle qui peut être optimiste (+0.3 m pour 2100, approximativement 3 mm/an) ou critique (+ 0.5 m pour 2100, approximativement 5 mm/an).

D'après Rohlinget *al.*, 2008 la montée du niveau de la mer pour le prochain siècle peut être jusqu'à approximativement deux fois la projection maximale trouvée.

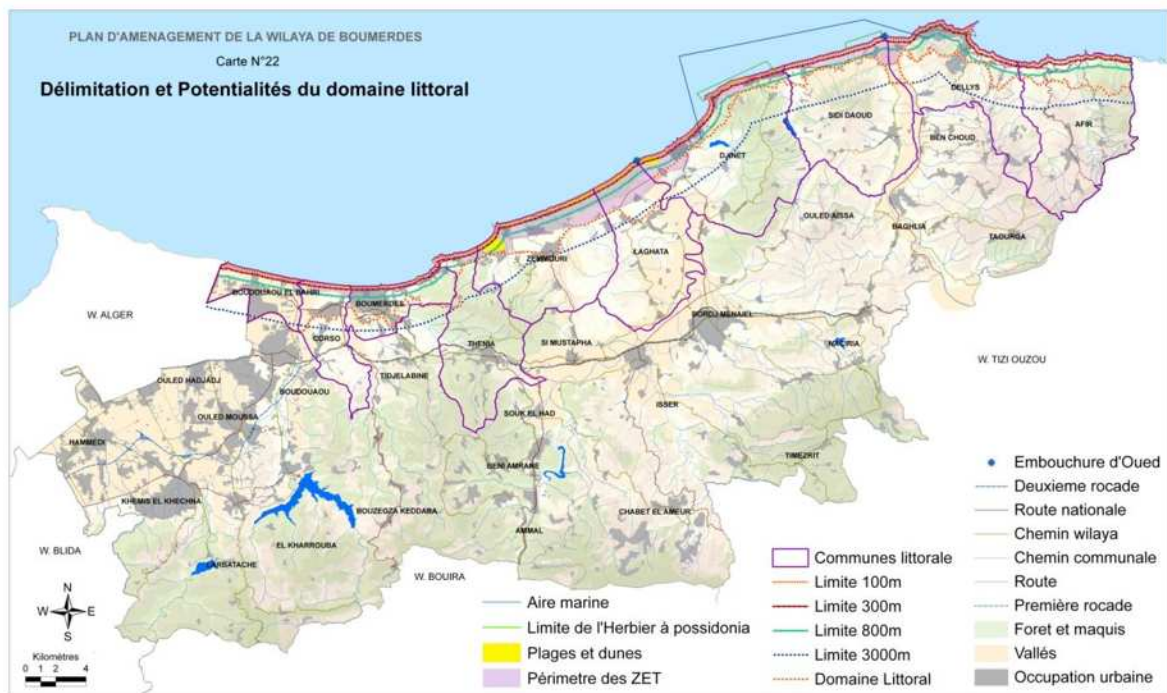
**V.4. Topographie et utilisation des sols :**

La polarisation est le résultat de l'interaction entre un centre, dénommé pôle (là où se concentre les activités humaines) spécialement le phénomène d'urbanisation. On parle de la littoralisation avec tous les impacts fonciers et environnementaux qu'elles génèrent.

La densité de population est inégalement répartie, qui s'accroît :

L'analyse de la densité (Habitants au Km<sup>2</sup>) (2010), montre une polarisation du peuplement, pour l'agglomération de Boumerdes, avec un pic de 2 275,1hab/Km<sup>2</sup>, par contre le reste des communes côtières présente une densité de 707.88hab/Km<sup>2</sup>.

Sur la zone côtière le développement du bâti urbain est caractérisé par une occupation longitudinale préférentielle. Cette occupation au 'pieds dans l'eau', intensif et étend à proximité des pôles urbains de Boumerdes à l'Est. Cette occupation consiste en grande partie par des aménagements spontanés, peu dense en habitat individuel.

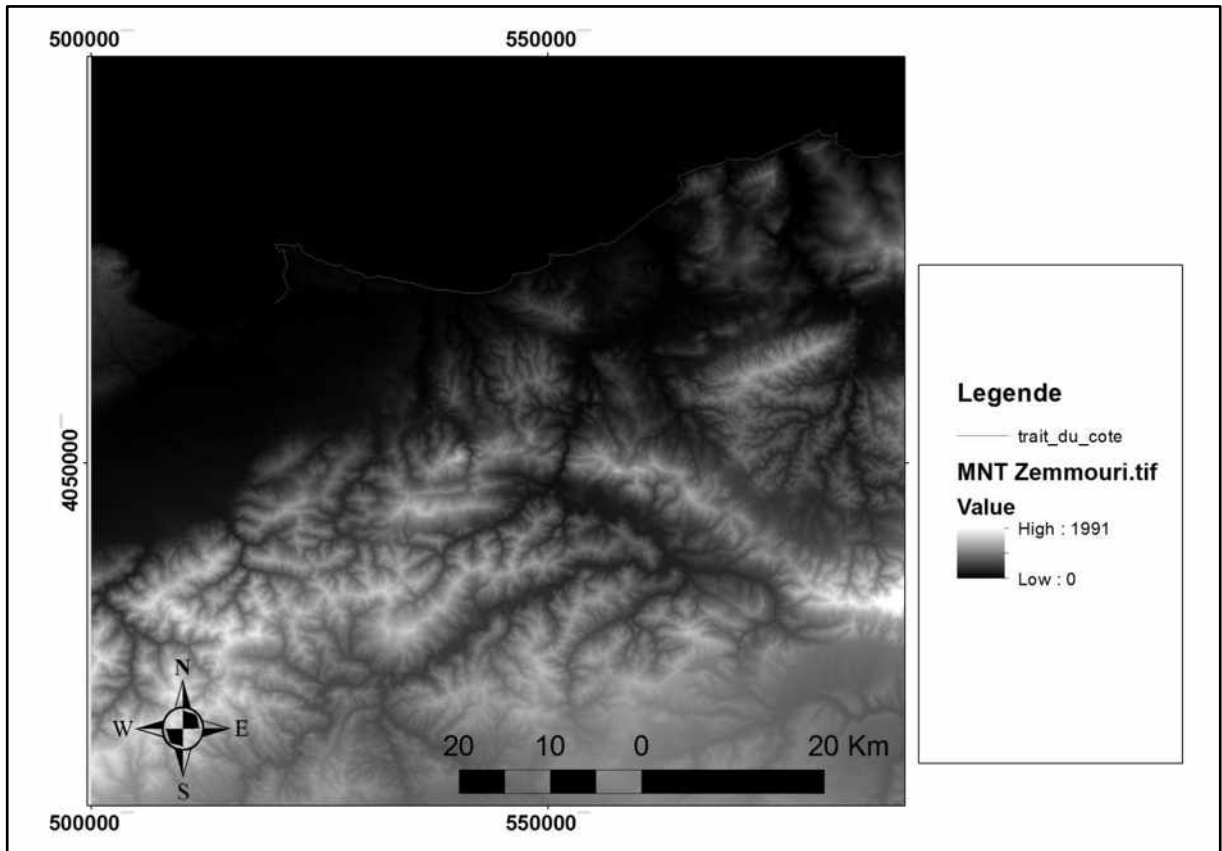


**Fig N°V-4 :** Carte de la délimitation et potentialité du domaine littoral de la Wilaya de Boumerdes (PATW, 2016).

**V.5. Méthodologie :**

Afin de calculer les écoulements liés aux entrées d'eau marine dans les terres, sur l'ensemble du territoire étudié, une modélisation numérique en deux dimensions est réalisée, ce qui permet de calculer, la hauteur et la vitesse d'écoulement de l'eau durant la submersion.

Cette modélisation est basée sur un relevé de terrain qui permet de connaître l'altimétrie du terrain en chaque point du territoire d'étude avec une précision de l'ordre de 10 à 20 cm (**Figure N°V-5**).



**Fig N°V-5** : Modèle numérique du terrain de la Baie de Zemmouri (2017).

Le résultat des calculs hydrauliques ainsi réalisés permet, de définir le niveau de risque dans les zones submersibles : en croisant la vitesse et la hauteur d'eau obtenues.

Une fois les cartes de risques définies, et les enjeux caractérisés le travail va se poursuivre par une analyse fine du territoire, c'est à dire les personnes, les biens, les équipements, les activités ou les différentes composantes de l'environnement susceptibles, du fait de leur exposition au risque, de subir des dommages.

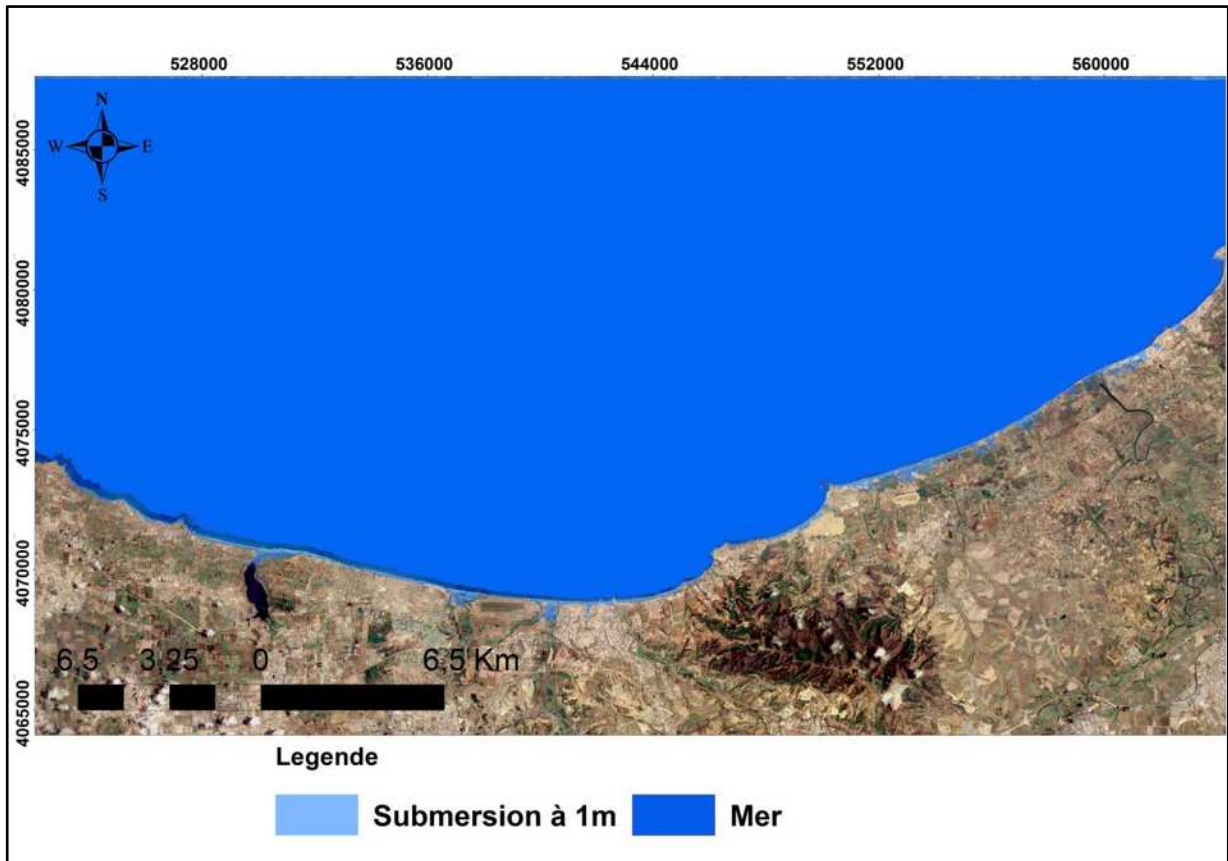
La vulnérabilité du territoire au risque d'inondation est caractérisée par une superposition des enjeux recensés dans les zones exposées et de l'intensité du risque (hauteur d'eau, vitesse)

C'est sur la base de cette analyse que sont définies des orientations visant à réduire cette vulnérabilité, tant du point de vue de l'urbanisation future que des modalités de construction et des usages du territoire.

**V.6. Résultats :**

Après l'analyse sous ArcGIS 10.4 on a obtenues les cartes de submersion suivantes pour plusieurs scénarios de l'élévation de niveau marin à savoir 1m, 2m, 3m, 5m et 7m.

- **Scénario d'une élévation de 1m :**



**Fig N°V-6 :** Carte de l'aléa submersion sur la Baie de Zemmouri en cas d'élévation de 1m de niveau de la mer

On remarque sur la figure V-6 que l'élévation du niveau marin de l'ordre de 1m affecte surtout la partie orientale ( du Boumerdes vers le Cap Djinet) en terme de surface occupée par les eaux marine ni au moins on relève dans la partie occidentale (Reghaia et boudouaou), les eaux marine entre vers la terre avec des distance plus au moins importante d'environ 50m(par rapport à la ligne du côte), et cela dû à la présence des Oueds débouchant a la mer dans ces zones là.

- Scénario d'une élévation de 2m :

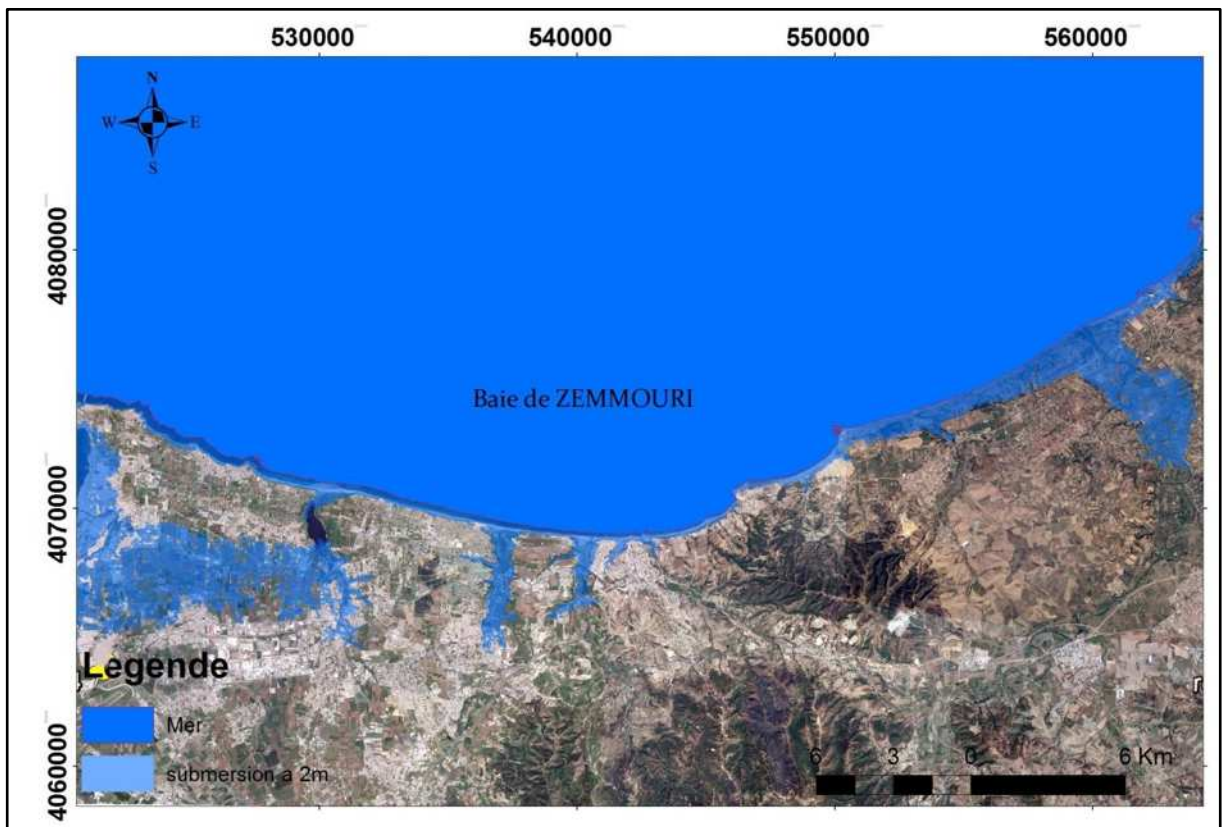


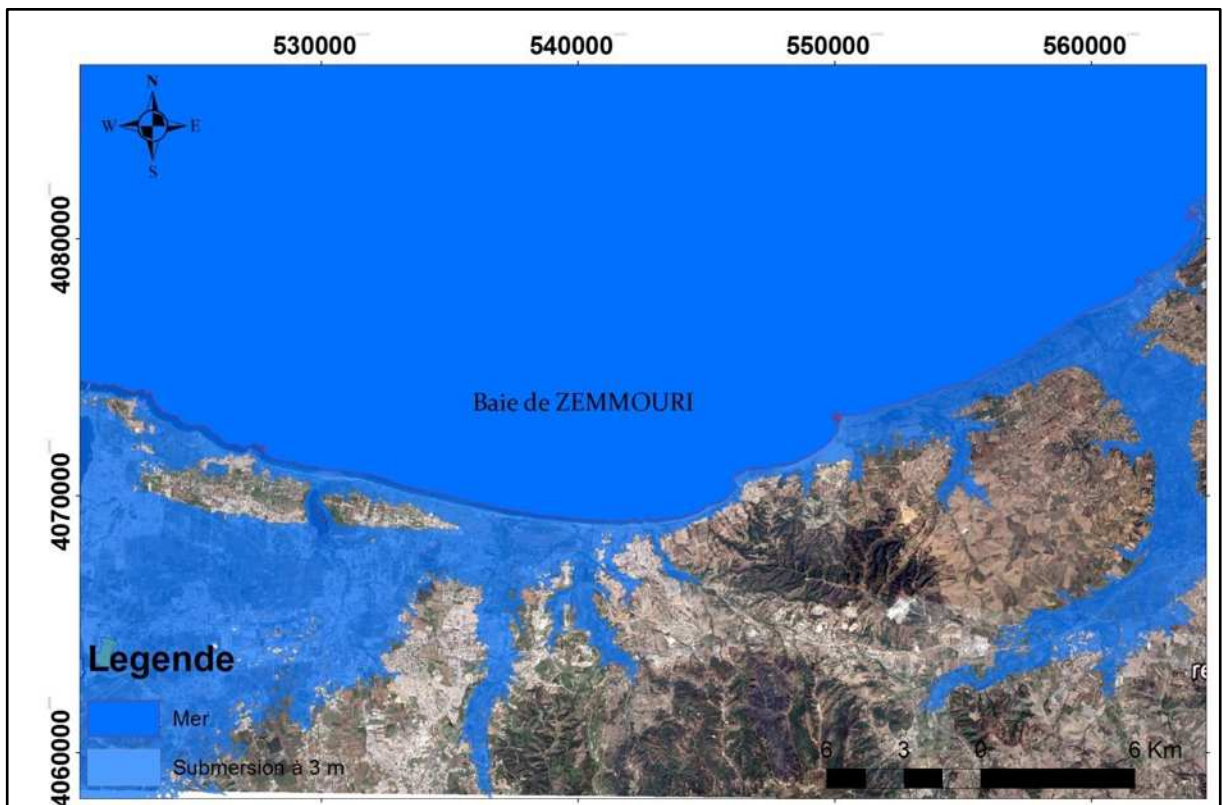
Fig N°V-7 : Carte de l'aléa submersion sur la Baie de Zemmouri en cas d'élévation de 2m de niveau de la mer

Pour une élévation de 2m (**Fig V-7**), on remarque que la surface occupée par les eaux de la mer est plus importante en termes de superficie et de distance par rapport au trait de côte, on la comparant avec la submersion de 1m.

L'intrusion des eaux marine vers la terre est accentuée par les réseaux hydrographiques notamment Oued Réghaia, Oued Boudouaou, Oued Boumerdès et l'Oued Isser à l'Est, où au niveau de ce dernier les eaux de la mer entrent à 9 km vers la terre.

Dans la partie occidentale vers la baie d'Alger, les eaux marines occupent une superficie d'environ 10km<sup>2</sup> avec une distance de 10 km de trait de cote algérois(vers l'ouest) qui est dû à morphologie continentale à faible altitude noté dans cette partie de la Baie (voire le MNT).

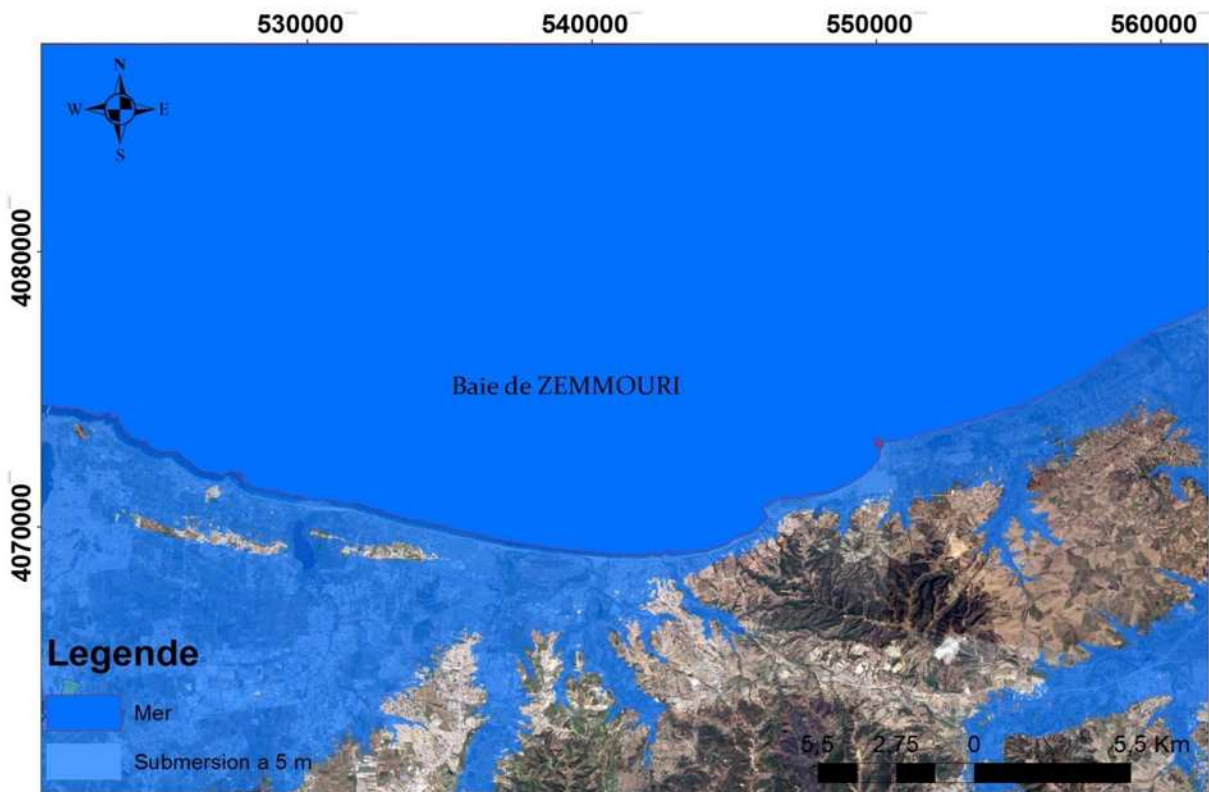
- Scénario d'une élévation de 3m :



**Fig N°V-8 :** Carte de l'aléa submersion sur la Baie de Zemmouri en cas d'élévation de 3m de niveau de la mer

Pour un cas extrême d'une élévation de 3m de niveau marin (**Fig V-8**), On constate une intrusion spectaculaire de l'eau de mer vers l'arrière pays à des distances très loin de la côte (environ 20km) dans des directions très variées notamment dans la partie occidentale où la majeure totalité de la zone est immergée (hauteurs de terrains varient entre quelques centimètres à plus de 1m par rapport au niveau 0).

- Scénario d'une élévation de 5m :

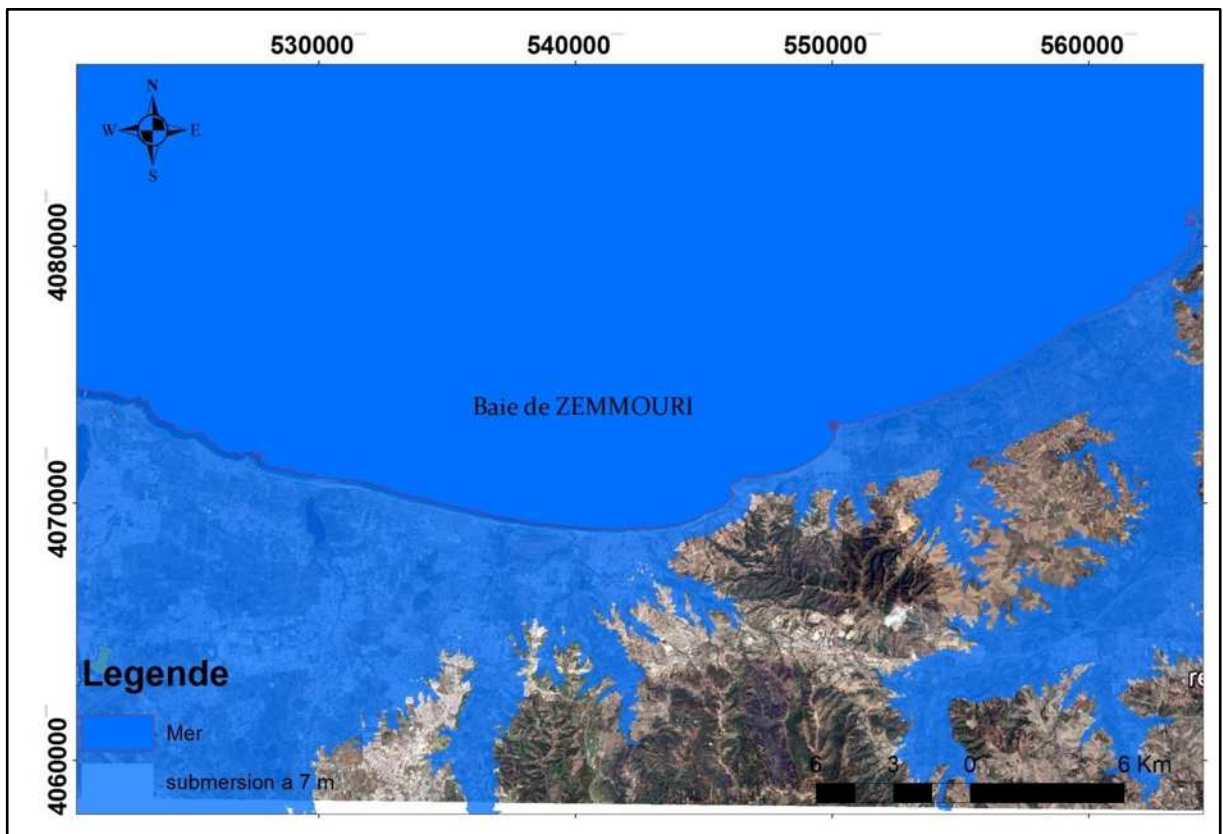


**Fig N°V-9 :** Carte de l'aléa submersion sur la Baie de Zemmouri en cas d'élévation de 5m de niveau de la mer

La figure **V-9** montre un envahissement des eaux marines sur la terre au niveau des deux cotés de la baie ou la topographie et plus au moins peu élevée (par rapport au centre).

La superficie des terres immergées est d'environ 2/3 de la superficie des terres totale.

- Scénario d'une élévation de 7m :

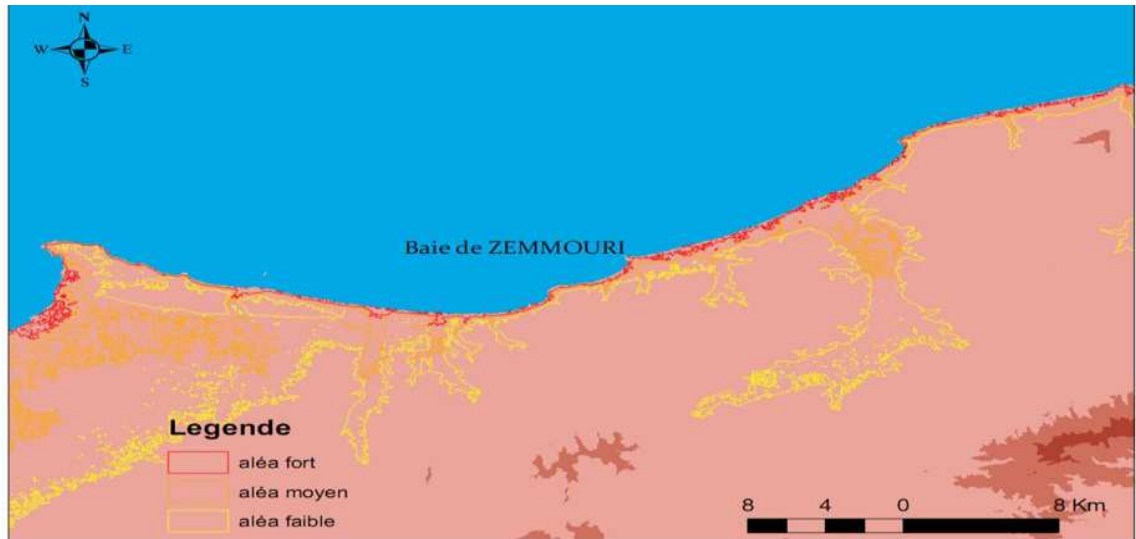


**Fig N °V-10 :** Carte de l'aléa submersion sur la Baie de Zemmouri en cas d'élévation de 7m de niveau de la mer

La figure V-10 montre une inondation sur une large partie de la zone urbanisée située en arrière des dunes, ainsi que toute la partie orientale et occidentale sont envahies par les eaux marines, elles dépassent les 20 Km vers l'arrière pays.

La superficie des terres immergées est de  $\frac{2}{3}$  ou plus de la superficie des terres totale.

La synthèse de ces cartes nous permet de créer une carte de zones de risquea 3 niveaux : fort, moyen et faible.



**Fig N°V-11** : Carte des zones de risque sur la Baie de Zemmouri

La carte (**Fig V-11**) montre que la zone à fort aléa est le trait de côte (la zone proche du rivage), par contre la zone occidentale et orientale montre aléa moyen à faible en arrière pays.

# **Conclusion Générale**

## Conclusion Générale

---

L'objectif principal de cette étude était l'identification et la cartographie des zones à risques d'inondation en cas d'événement marin dans la grande baie de Zemmouri, et de déterminer les tendances actuelles d'évolution de la morphologie des plages en relation avec la variabilité du forçage hydrodynamique et disponibilité sédimentaire à l'avant côte de la baie de Zemmouri. En plus de mettre en évidence les processus physiques à l'origine du transport sédimentaire sur les plages et les mécanismes de rétroaction sur les forçages hydrodynamiques et les entités morphologique, ceux-ci contribuant au développement et au maintien de formes d'accumulation sédimentaires et offrant une protection naturelle contre l'érosion des plages.

La méthodologie mise en avant dans ce travail a réussi à valoriser les apports de la modélisation numérique par l'utilisation du modèle numérique Mike 21 DHI et d'un SIG ArcGis® ESRI 10.2 et DSAS.

Tout d'abord, on a utilisé le modèle numérique Mike 21 DHI, afin de cartographier les fonds marins et d'étudier la propagation de la houle de notre zone d'étude. La première partie nous a permis une bonne reconnaissance de la morphologie sous-marine. La deuxième partie nous a également permis d'exploiter les caractéristiques de la houle au large, avec estimation de la direction et de la hauteur de la houle significative à la côte. Cette modélisation nous a renseignés sur le fond de notre zone d'étude qui se caractérise généralement par une morphologie plus ou moins régulière.

Au niveau de la baie de Zemmouri, la houle de direction Est atteint la cote avec des hauteurs variables selon l'évolution de la bathymétrie, des valeurs varient entre 0.25m et 1 m sont enregistrées dans la partie Ouest (Ain taya, Reghaia et Boudouaou el Bahri) et dans la zone Est (plage de Zemmouri). Des valeurs faibles de l'ordre de 0.5m et de 1m dans les zones abritées (plage Boumerdes, port de Zemmouri...). A l'exception de la zone de Cap Djinet, les hauteurs de la houle atteignent les 1.25m juste auprès de la jetée principale, cela est dû généralement au déferlement important des vagues ainsi que la diffraction de la houle sur les jetées du port. Pour les houles Ouest et Nord attendent la cote avec des hauteurs significatives moins importantes que celles de la direction Est.

Les houles 45°N sont très fréquentes, elles engendrent des courants de dérive parallèles à la côte et des courants de retours dans le sens opposé.

Les houles de secteur 315°N (généralement des houles hivernales). Ces houles engendrent une dérive littorale Ouest-Est le long de toute la côte sauf au niveau de Réghaia Plage qui est abritée par un îlot orienté dans le sens opposé, la houle ne perd que très peu de son énergie, les orthogonales ne pivotent que légèrement à l'approche du rivage.

Les houles de secteur 360°N, ont une propagation quasi frontale et suit presque le même comportement d'évolution avec celle d'une direction 45°, et cela aussi pourrait influencer sur notre zone d'étude.

Les houles dominantes dans la zone engendrent des courants de dérive littorale qui jouent un rôle très important dans la dynamique sédimentaire.

De façon générale dans la Baie de Zemmouri, la tendance de dérive littorale est de l'Est vers l'Ouest pour les houles de direction 45°N, et de l'Ouest vers l'Est pour des houles de direction de 315°N. Par contre les houles de direction 360°N engendrent des transports sédimentaires selon la morphologie de la zone au voisinage de la cote.

Ensuite, on a entamé une méthodologie portant sur l'apport potentiel SIG (utilisation combinée des logiciels DSAS et ArcGis® ESRI 10.2). Cette méthode repose sur une analyse des tendances d'évolution du littoral dans son état naturel et le suivi de sa transformation.

## Conclusion Générale

---

la côte étudiée a connu une érosion généralisée avec des EPR d'ordre -0.8 à -1.66 m/an, la partie Est à une accumulation au niveau du cap Djinat et au voisinage du port, ainsi sur la zone entre l'épi et le port de pêche, sur la partie centre au niveau du deuxième zone jusqu'au cinquième zone il y a une accumulation au niveau du port Zemmouri, Cap Blanc, Rocher Noir, sur la partie Ouest la zone est en érosion totale entre Oued Corso et Oued Reghaia.

La partie occidentale montre des reculs spectaculaires vers Reghaia, Boudouaou et Boumerdes.

En fin, on a effectué une modélisation de phénomène de submersion marine sur la baie de Zemmouri en proposant des scénarios de l'élévation de niveau marin. L'élévation de 1m affecte la ligne de rivage et les oueds débouchant à la mer dans ces zones. L'élévation de 2m affecte une importante superficie avec une distance de 9 à 10 km vers la terre, accentué par les réseaux hydrographiques et dû aussi à la morphologie à faible altitude. L'élévation de 3m constate une intrusion spectaculaire de l'eau de mer vers l'arrière-pays à distance de 20 km. L'élévation de 5m montre un envahissement des eaux marines d'environ 2/3 de la superficie sur les deux cotés orientale et occidentale ou la topographie est peu élevée par rapport au centre. L'élévation de 7m montre une inondation sur une large partie de la zone qui dépasse les 20 km vers l'arrière-pays.

Notre étude nous a permis de constater que la diversité des facteurs à l'origine des phénomènes auxquels fait face le littoral de la baie de Zemmouri le rendait sensible à toutes autres interventions qui très souvent ne représentent que des solutions temporaires à un problème d'ordre régional.

# **Référence bibliographiques**

1. **Ahfir Y. , Meziane I. (2016).** Modélisation Numérique De La Cinématique Du Trait De Côte Et La Dynamique Sédimentaire Des Plages Sableuses (Oran, Bou-Ismaïl, Alger, Bejaia, Skikda) Cas D'étude : Sidi Fredj. Mémoire D'ingénieur. Aménagement Du Littoral. Alger : ENSSMAL, 171p.
2. **Anselme B et al. (2011).** Storm extreme levels and coastal flood hazards: a parametric approach on the French coast of Languedoc (district of Leucate). C. R.Geoscience, Vol.43, n°17. p.p 677–690.
3. **Beach et Sternberg, 1992;** Swash zone sediment transport modes. Alger : Enag, 289 p.
4. **Belanteur (2001).** Itinéraire pour apprivoiser le perdrix. Alger : Enag, 291 p.
5. **Benavente J, et al (2006).** Coastal flooding hazard related to storms and coastalevolution in Valdelagrana spit (Cadiz Bay Natural Park, SW Spain). Continental Shelf Research, Vol. 26, no 9. p.p 1061-1076.
6. **Bertier, (2009).** Analyse multi-échelle de la morphodynamique d'une plage artificielle, Avant-port Ouest de Dunkerque (Nord de la France).Thèse de doctorat de géographie physique, Géomorphologie. Dunkerque : Université du Littoral Côte d'Opale, 316 p.
7. **Bird, E.C.F., (1996).**Beach Management (Coastal Morphology And Research). John Wiley And Sons Ltd, Chichester, 292p.
8. **Boak, E.H., Turner, I.L., 2005.** Shoreline Definition And Detection: A Review. Journal OfCoastal Research 21 (4), 688–703.
9. **Bouhmadouche M. (2012).** Contribution A L'étude Géologique Et Sédimentologique De La Grande Baie De Zemmouri (Cap-Matifou Cap-Djinet). Thèse Doctorat. Géologie Marine. Alger : USTHB, 180 P.
10. **Boutiba, (2006).** Géomorphologie dynamique et mouvements des sédiments le long de la côte sableuse Jijelienne (Est Algérie). Thèse de doctorat d'état. Alger :FSTGAT/USTHB, 252 p.
11. **Bowen, (1969).** The generation of longshore currents on a plane beach. Journal ofGeophysicalResearch. vol. 27. n° 3. p.p. 206-215.
12. **Brunel C. (2010).** Evolution Séculaire De L'avant-Cote De La Méditerranée Française, Impact De L'élévation Du Niveau De La Mer Et Des Tempêtes. Formation Doctorale: Espaces, Cultures Et Sociétés. UNIVERSITE AIX-MARSEILLE I. 470p.
13. **Calliari, (1994).**Sand and gravel spits. Berlin, Allemagne : coastal research library, 344 p.
14. **Cariolet J-M. (2011).**Inondation des côtes basses et risques associés en Bretagne:vers une redéfinition des processus hydrodynamiques liés aux conditions météo - océaniques et des paramètres morpho -sédimentaires. Thèse de doctorat. Oceanographie physique. France : Université de Bretagne occidentale-Brest.247 p.
15. **Carter, R. W. G.,(1988).** Coastal Environments. An Introduction To The Physical, Ecological And Cultural Systems Of Coastlines.London :Academicpress, 617p.
16. **Cartier, A. (2011).** Evaluation Des Flux Sédimentaires Sur Le Littoral Du Nord-Pas-De-Calais: Vers Une Meilleure Compréhension De La Morpho Dynamique Des Plages Macrotidales. Thèse de doctorat GEPO.Dunkerque : Université du Littoral Côte d'Opale, 408 p.

17. **Christophe B.(2005).**Etude de l'hydrodynamique d'une zone côtière anthropisée : l'embouchure de l'Adour et les plages adjacentes d'Anglet. Thèse de doctorat, génie civil, hydraulique maritime et transport sédimentaire. France ;Pau : DES SCIENCES EXACTES ET DE LEURS APPLICATIONS, 271 p.
18. **Courtaud, (2000).** Dynamiques géomorphologiques et risques littoraux : cas du tombolo de Giens. Var, France :C.E.P.R.E.L. 291 p.
19. **Cowell , Thom, (1994).**COWELL, P. J. et THOM, B. G.*Morphodynamics of coastal evolution.*Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
20. **David M. (2008).** Dynamique Des Plages Sableuses Soumises A L'action Des Vagues, De La Marée Et Des Rechargements Artificiels. Thèse De Doctorat. Océanographie Physique. Thèse de doctorat d'océanographie physique. Brest : Université de Bretagne occidentale –Brest, 281p.
21. **Davidson-Arnott R G D.(2001).**Moisture and fetch effectson rates of aeolian sediment transport, Skallingen, Denmark. Rapport d'activité. Document non publié.Canada: CCSEA.
22. **Didier R. (2004).** Analyse statistique de l'évolutionmorphodynamique des plages sableuses: Application aux sites d'études du programme national d'environnement auxplages d'Anglet. thèse doctorat. Génie civil-dynamique littorale et sédimentaire .France : université de Pau et des pays de l'Adour.219 p.
23. **Faye I. (2012).**Cartographie normalisée de l'évolution de trait de cote.Rapport.Document non publié. Bretagne : université de Bretagne Occidentale.
24. **Ferrani, A. (1998).** Contribution A L'élaboration Des Données De Base De La Baie DeZemouri Et L'étude Du Site De Palme-Beach (Bai De Bou Ismail). Mémoire D'ingénieur.Aménagement Du Littoral. Alger : ISMAL. P.P 35- 114.
25. **Garry et al, (1997).** Rock dynamics and applications. London : University of science and technology , 507 p.
26. **Giec, (2007) ;** Le Rapport de Synthèse du GIEC (Novembre 2007)
27. **Giresse P., (1989).** Quaternary Seal-Level Changes On The Atlantic Coast Of Africa. *In:*TOOLEY M.J. Et SHENNANI, *Seal-Level Changes*, Basil Blackwell, London, Pp.249-275.
28. **Grenier , Dubois, (1990).** Méthode d'étude des littoraux à faible évolution. Cas du delta du Golo (Corse) et du littoral du Touquet (Pas-de-Calais) en France, géomorphologie : relief, processus, environnement, janvier-mars, vol. 7, n°1, pp 47-54.
29. **Guidou O. Touzi W I.** Mise En Place D'une Base De Données Sédimentologiques Dans Le Domaine Côtier De La Grande Baie De Zemouri (Etablissement De La Carte Morpho-Sédimentaire). Mémoire D'ingénieur En Sciences De La Mer. Alger : ENSSMAL. 119p.
30. **Guilcher, (1979).** Précis d'hydrologie marine et continentale. France : 2<sup>e</sup> éd. Ent. Ref , 344 p.

31. **Harris S W, et Marshall, W.H. (1963).** Ecology of Water-Level Manipulation on a Northern Marsh. *Ecology*. Vol. 44, n° 2. p.p. 331-343.
32. **Henaff A., Manuelle. P.(2014).** Gestion des risques d'érosion et de submersion marine. *Géographie environnement*. Brest : Université de Bretagne occidentale. 153 p.
33. **Hontarrede M. et Galli (2001).** Surcote et marée de tempête. *Navigation*. Vol. 49, n° 196. p.p 78-89.
34. **Hoozemans F. M. J. et al (1993).** Sea level rise: A global vulnerability assessment vulnerability assessments for population, coastal wetlands and rice production on a global scale H1588. Rapport. Document non publié. Holland : Deltares (WL).
35. **Hunt. I. A (1959).** Design of sea-walls and breakwaters. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*. Vol. 126, n° 4, p.p. 542-570.
36. **Hüseyin D. (2007).** A Process-Based Model For Beach Profile Evolution. A Dissertation Presented To The Academic Faculty In Partial Fulfillment Of The Requirements For The Degree Doctor Of Philosophy. School Of Civil And Environmental Engineering Georgia Institute Of Technology. 235p.
37. **Khalfani D. (2014).** Etude Hydro-Sédimentaire A L'avant Cote De Cap Djinet Wilaya De Boumerdès. Mémoire De Magister Géo-Risque Et Aménagement Du Littoral. Alger : ENSSMAL. 217p.
38. **Komar P.D. (1998).** Beach processes and sedimentation. United states :Prentice-Hall, 544 p.
39. **Longuet-Higgins, Stewart, (1962, 1963, 1964).** Radiation stresses in water waves; a physical discussion, with applications. *Deep sea research and abstracts*, Vol.11. n°4. pp. 529-562.
40. **Longuet-Higgins M S, et AL. (1964).** On group velocity and energy flux in planetary wave motions. In *Deep Sea Research and Oceanographic Abstracts*. Elsevier. Vol. 11. n° 1. pp. 35-42.
41. **Mallet et al,(2012).** Physicochemical characteristics of aerosols measured in the spring time in the Mediterranean coastal zone. Vol 47. pp 1-570.
42. **MATE, (1997).** *Journal of materials science*. Vol 32, n°2. pp 279-554.
43. **Meur-Férec, (2006).** De la dynamique naturelle à la gestion intégrée de l'espace littoral : un itinéraire de géographe. Thèse de doctorat. France : Université de Nantes. 248 p.
44. **Nadir M. (2016).** Modélisation numérique de la morpho dynamique d'une côte sableuse soumise à l'effet des vagues et des houles cas : Plage Est de SIDI Fredj. Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL. 149 p.
45. **Otmani H. (2014).** Impact Des Infrastructures Maritimes Sur Le Littoral : Cas Du Port De Cap Djinet. Mémoire De Magister Gestion Et Surveillance De l'Environnement Marin Et Littoral. ENSSMAL. 178p.
46. Paskoff et Clus Auby, 2007 – L'érosion des plages : les causes, les remèdes, Paris/Monaco, Institut Océanographique, coll. « Propos », 184 p.
47. Paskoff, 1998 ; *Les littoraux. Impact des aménagements sur leur évolution* . 3e édition, coll. " U ", paris : Armand Colin, 264 p.

- 48. Paskoff, (2005).** Caractérisation et gestion d'un type de dune littorale : les avant-dunes. Sousse :Département de Géographie. Faculté des Lettres et des Sciences Humaines de Sousse. pp 122-163.
- 49. Paskoff, R. Et Clus-Auby C.,(2007).** L'érosion Des Plages: Les Causes, Les Remèdes. Coll.« Propos »,paris : Institut Océanographique, pp. 56-61.
- 50. Paskoff, R., (1998).** Les Littoraux, Impact Des Aménagements Sur Leur Evolution, Ed.Armand Colin Et Masson, Coll. U Série Géographie, 3ème Edition Revue Et Corrigée, 260 p.
- 51. Paskoff, R., (2005).** Les Plages Vont-Elles Disparaître ? Ed. Le Pommier, Paris :Coll.« Les Petites Pommes Du Savoir », 64 p.
- 52. Pirazzoli,(1993).**Les littoraux (Leur évolution). Compte rendu , Vol 82, 117 p.
- 53. Rohling E J, et Al.( 2008 ).** High rates of sea-level rise during the last interglacialperiod. Nature Géoscience. Vol.1, n°1. p.p 38-42.
- 54. Saadallah, (1992).**Le cristallin de la grande kabylie( algérie). Alger : USTHB. 200p.
- 55. Snoussiet al. (2008).** Coastal ClimateChange: Adaptation and Resilience.[En ligne][consulté le 20/4/2018]. Disponible sur le web : [www.environment.act.gov.au](http://www.environment.act.gov.au)
- 56. Toure B. Kouame K F. Souleye W. Collet C. Affian K. Ozer A. RudantJp. Biemi J.** L'influence Des Actions Anthropiques Dans L'évolution Historique D'un Littoral Sableux A Forte Dérive Sédimentaire : La Baie De Port-Bouët (ABIJAN, COTE D'IVOIRE). Article Scientifique (2012).[en ligne][consulté le 22/3/2018].disponible sur le web :[Www.Journal.Openedition.Org/Geomorphologie/9990](http://Www.Journal.Openedition.Org/Geomorphologie/9990)
- 57. Tricot (2012).**Comment concevoir un enseignement ?. Toulouse :l'Université de Toulouse - IUFM Midi-Pyrénées. 283 p.
- 58. Wright et Short. 1984.**WRIGHT, L. D. et SHORT, Andrew D. Morphodynamic variability ofsurf zones and beaches: a synthesis. *Marine geology*, 1984, vol. 56, no 1-4, p. 93-118.

# **Annexe**

## ArcGis DESKTOP10.2:

ArcGis est un logiciel qui offre de nombreuses potentialités pour la manipulation, la gestion, l'analyse et l'édition des données spatiales. Différentes couches d'informations spatiales peuvent être manipulées offrant la possibilité d'analyser une ou plusieurs couches sous le contrôle des autres. Le seul lien entre ces différentes couches est le lien spatial, c'est - à-dire, l'appartenance au même espace géographique et ayant le même système de coordonnées(Nadir M., 2016).

Le logiciel ArcGIS 10.2 comprend trois applications principales : ArcCatalog, ArcMap, et ArcToolbox.

### ArcCatalog:

ArcCatalog est un explorateur de données tabulaires et cartographiques offrant des outils de gestion et d'organisation analogues à ceux offerts par les systèmes d'exploitation comme WINDOWS ou DOS (copier, renommer, effacer, créer des icônes, etc.). Il permet aussi de visualiser les données tabulaires et des couches géographiques ainsi qu'une exploration(Nadir M., 2016).

- **ArcMap :**

ArcMap est l'application fondamentale du logiciel ArcGIS. Elle contient une boîte à outils, organisés sous forme de modules indépendants (extensions), permettant de gérer, manipuler, analyser et éditer les différentes couches d'informations de la base de données.(Nadir M., 2016).

- **ArcToolbox:**

Est une boîte à outils permettant d'effectuer des conversions et de transferts de format et aussi de projection (Nadir M., 2016).

### IV.1.1.2. DSAS (Digital Shoreline Analysis System):

Cet outil, logiciel libre développé par l'USGS, fonctionne sous ArcGIS ©ESRI. Il permet de calculer les statistiques d'évolution d'une série de traits de côte.

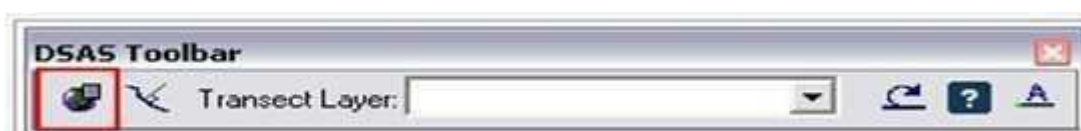
L'exécution de cette analyse nécessite au préalable la préparation des traits de côte au format vecteur au sein d'une géodatabase (une entité par année) et la numérisation d'une ligne de base (onshore ou offshore) à partir de laquelle DSAS créera des transects perpendiculaires qui viendront couper les différents traits de côtes.

C'est à partir de ces points d'intersection que DSAS calcule le taux d'évolution entre les différents traits de côte. Il connaît en effet le temps écoulé entre deux traits de côte (date) et la distance entre les deux lignes (distance calculée entre les deux points d'intersection).

En sortie, DSAS fournit une table contenant les statistiques d'évolution (taux de régression linéaire, moyenne des moindres carrés...) et une table contenant les caractéristiques des points d'intersection (coordonnées, distance par rapport à la ligne de base).

- **Barre d'outils (Toolbar) de DSAS :**

Définir / Modifier les paramètres : spécifiés les noms de fichiers pour les entrées de référence et de rivage et d'autres paramètres, tels que l'espacement des profils.



Transects Cast : génère une nouvelle (ou écrase un existant) classe d'entités des profils en fonction des paramètres par défaut spécifiés par l'utilisateur.



Le menu déroulant : répertorie tous les fichiers de transect reconnus ajoutés au projet ArcMap actif.



Calculer les statistiques : lance une boîte de dialogue peuplée avec une liste sélectionnable des statistiques de changement de taux à calculer.



Lancer la fonction d'aide DSAS.



A propos de DSAS : fournit des informations sur le logiciel, y compris le numéro de version.



## Mise en place d'une base de données sédimentologiques dans le domaine côtier de la grande baie de Zemmouri

### Résumé :

La grande baie de Zemmouri (ex. baie de courbet) se situe à une quarantaine de km à l'Est d'Alger. C'est une baie largement ouverte vers le nord d'environ 45 km, dont le linéaire côtier s'étale sur une cinquantaine de kilomètre (51 km)

L'objectif de cette étude est de décrire la nature et la morphologie de l'estran afin d'identifier les grandes structures morpho-sédimentaires qui caractérisent cette baie.

Les résultats de la modélisation montrent que la côte de la baie de zemmouri est soumise aux houles de fortes amplitudes provenant du secteur Ouest. Le flux énergétique longshore provient du secteur Nord –Est et s'oriente vers le Sud-Ouest. Le courant longshore mis en évidence par la simulation est généré par les houles déferlantes. Ce courant prend une direction Nord-Sud lorsque les houles atteignent obliquement la côte en provenance du Nord Est, et une direction Sud-Nord pour des houles de l'ouest.

Concernant le transport sédimentaire, les résultats de la simulation ont dévoilé un bilan sédimentaire qui indique que certaines régions comme Réghaia plage tandis que d'autres zones représentent un engraissement l'exemple de BoudouaouElbahri

**Les mots-clés :** Hydrodynamique, transport sédimentaire, sédiments, houle, courant, modélisation.

### Abstract:

The large bay of Zemmouri (ex. Courbet Bay) is located forty kilometers east of Algiers. It is a wide-open bay to the north about 45 km, the coastline spans some fifty kilometers (51 km). The objective of this study is to describe the nature and morphology of the foreshore in order to identify major morpho-sedimentary structures that characterize this bay.

The results of modelization show that the coast of the Bay zemmouri is submit to large amplitude from the westerly swells. The longshore energy flow comes from North -Is sector and is moving toward the southwest. The current longshore highlighted by the simulation is generated by breaking waves. This current is a north-south direction obliquely when the swells hit the coast from the North East, and South-North direction to the West swells.

On sediment transport, the simulation results have revealed a sedimentary record indicating that some regions such Réghaia beach while other areas are an example of fattening BoudouaouElbahri

**Keywords:** Hydrodynamic, sediment transport, sediments, bathymetry, swell, current, modelization.

### :الملخص

يقع خليج زموري (خليج كوربيه سابقا) على بعد أربعين كيلومترا شرقي الجزائر العاصمة. انه خليج مفتوح إلى الشمال بحوالي 45 كم، ويمتد الشريط الساحلي على خمسين كيلومترا

-الهدف من هذه الدراسة هو وصف طبيعة ومورفولوجيا شواطئ المتواجدة في المنطقة بهدف لتحديد الهياكل مورفولوجية الرئيسية التي تميز هذا الخليج

أظهرت نتائج النمذجة أن ساحل خليج زموري يخضع لسعة كبيرة من الأمواج العالية الآتية من الغرب. اندفق الطاقوي القادم من الشمال الشرقي يتجه نحو الجنوب الغربي التيار البحري المتحصل عليه قد تسببت به الأمواج المنكسرة وذلك -- حسب نتائج النمذجة. هذا التيار ذو اتجاه شمال جنوب بالنسبة للأمواج الآتية من الشمال الشرقي وجنوب شمال بالنسبة للأمواج القادمة من الغرب

فيما يخص نقل الرواسب، كشفت نتائج النمذجة إلى أن بعض المناطق مثل شاطئ رغبة تتعرض لظاهرة تآكل شواطئها بينما مناطق أخرى عرضة لتشكيل شواطئها مثال بودواو البحري

المصطلحات: الهيدوديناميكية، نقل الرواسب، الرواسب، الأمواج، التيار، النمذجة

